

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

2023
No.912

2

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

令和5年2月15日発行 ISSN0371-0718



ハイブリッド混和剤

目指したのは「丈夫で長持ち」。

乾燥収縮の低減でひび割れを抑制、耐久性を向上。

過度なブリーディングを抑え、より緻密な組織へ。

高い減水性能で扱いやすく、施工不良のリスクも低減。

高品質なコンクリートは建設廃材を減少させ、環境にも貢献。



高性能AE減水剤（増粘剤一液タイプ）

チューポールHP-70

AE減水剤（高機能・ブリーディング低減タイプ）

チューポールEX60LB

高性能AE減水剤（収縮低減タイプ）

チューポールSR

AE減水剤（高機能・収縮低減タイプ）

チューポールLS



TAKEMOTO

ケミカルで社会インフラの発展を支える

KaO

きれいを ところに 未来に

粉塵量を大幅削減
ビスコトップ UT



加振時の流動性向上
マイティ 21V-SG



花王株式会社 ケミカル事業部門

東京 〒131-8501 東京都墨田区文花2-1-3
大阪 〒550-0012 大阪市西区立売堀1-4-1
URL <https://chemical.kao.com/jp/>
E-mail chemical_elf@kao.com

AE減水剤 (高性能タイプ) ヤマソー 02NL

収縮低減剤 ヤマソー DS100

AE減水剤 (高性能タイプ・ブリーディング低減型) ヤマソー 16NB

AE剤 ヴィンソル

高性能AE減水剤 ヤマソー V1S

AE減水剤 (高性能タイプ) ヤマソー 09NL

AE減水剤 (耐寒促進剤 タイプ1) ヤマソー ウィン

高性能AE減水剤 (収縮低減タイプ) ヤマソー V1-DS

硬化促進剤 ヤマソー ウィンS

高流動コンクリート用分離低減剤 ヤマソー ビスコソ

減水剤 (遅延形) ヤマソー R

AE減水剤 ヤマソー 90SE

スランプ保持剤 ヤマソー 2020

あした
明日へ繋げる

コンクリートという無機質の中から
人々が理想とする安心・安全・快適さを実感できる、
より良い街づくりのお手伝いをします。



 **山宗化学株式会社**
YAMASO CHEMICAL CO., LTD.

本社 ●〒104-0032 東京都中央区八丁堀2-25-5 ☎03-3552-1341 (代)
東京営業部 ●☎03-3552-1261
支店 ●大阪/☎06-6353-6051 福岡/☎092-483-8567 札幌/☎011-662-5552
営業所 ●広島/☎082-237-3083 仙台/☎022-224-0321 北陸/☎0776-28-2566
出張所 ●静岡/☎054-202-5111 高松/☎087-863-7565
事務所 ●平塚/☎0463-23-5536

<https://www.yamaso-chem.co.jp/>

セメント・コンクリート

CEMENT & CONCRETE

2023 No.912

2

もくじ

- 02 JCA Report
高流動コンクリートのワーカビリティ評価試験に関する検討 …(一社)セメント協会 コンクリート専門委員会
- 10 シリーズ／セメント系固化材 その特性と広がる可能性①
セメント改良土とセメント改良技術 ～コンクリートとの比較～ … 北詰 昌樹
- 16 日をまたいで打重ねを行うことによるマスコンクリートの合理化施工 … 向 俊成ほか
- 24 すいそう
無趣味人のAI頼み … 新藤 竹文
- 26 北海道内最高高さの超高層RC建物の設計と施工 ～さつきた8・1～ … 辰濃 達ほか
- 32 日本建築学会・鉄筋コンクリート造建築物の
収縮ひび割れ制御設計・施工指針の改定概要 … 丸山 一平ほか
- 42 汎用性の高い環境配慮型コンクリートの開発 ～H-BA コンクリート～ … 金子 樹
- 50 床版取替工事への超高耐久床版の適用 中国自動車道 蓼野第二橋下り線 … 福田 泰樹ほか

23 第77回セメント技術大会
一般研究発表の募集のお知らせ

49,60 外国雑誌の記事情報

58 論文検索サービスのご案内

61 EVENT GUIDE

63 セメント・データファイル

64 主要建設工事・資材統計

66 3月号予告



今月の表紙

建設の進む道内最高高さを誇る
「さつきた8・1」[北海道／提供：
大成建設(株)]

■セメント協会ホームページ <https://www.jcassoc.or.jp> ■本誌への広告申込みはセメント協会 広報部門 TEL.03-5540-6175

高流動コンクリートの ワーカビリティ評価試験に関する検討

(一社)セメント協会 コンクリート専門委員会

1. はじめに

今日、高密度配筋のコンクリート構造物に対して、高流動コンクリートの適用が広く求められている。また、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)の2019年の改正で、呼び強度27～45の普通コンクリートにスランプフロー管理の配合が追加され、今後、高流動コンクリートが一般的に普及することが期待されている。高流動コンクリートは、締固めを行わなくても自重のみで型枠内の隅々まで均質に充填する性能(自己充填性)を有するコンクリートと構造物の施工条件に応じて軽微な締固めを必要とするコンクリートに分類される。

「施工に求められるコンクリートの性能」であるワーカビリティの指標の一つとして充填性が挙げられる。土木学会コンクリート標準示方書では、充填性を「打ち込んだコンクリートが、振動締固めを通じて材料分離することなく鉄筋間を円滑に通過し、かぶり部や隅角部等に密実に充填できる品質」と定義し、「コンクリートの流

動性と材料分離抵抗性に基づいて定める」ことが記述されている。また、同会高流動コンクリートの配合設計・施工指針(土木学会編)(以下、高流動指針と称す)において、「間隙通過性」を「フレッシュコンクリートが鉄筋間等の狭窄部で材料分離を生じることなく通過する性能」と定義している。以上から、充填性は、「流動性」、「材料分離抵抗性」に加えて、「間隙通過性」も考慮する必要があると考えられる。

そこで、セメント協会コンクリート専門委員会では、高流動コンクリートのフレッシュ性状の評価や配合などの留意点、配合設計手法に関する技術的な情報収集の一環を目的として、高流動コンクリートの充填性に及ぼす材料、配合、試験方法などの影響を調査した。

なお、本検討では、セメントとして、現在広く使用されている普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種に加え、セメント業界におけるカーボンニュートラルの実現に向けた取組みの一つとして考えられている普通ポルトランドセメント中の少量混合成分を増量した試製セメントを対象とした。

2. 試験概要

2-1. 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント(以下普通、記号N)、将来的な少量混合成分の増量を想定したセメントの一例として試製セメント(少量混合成分を含まない普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末5%、石灰石

表1 セメントの物理試験結果

記号	セメントの種類	密度(g/cm ³)	比表面積(cm ² /g)	凝結			安定性	圧縮強さ(N/mm ²)		
				水量(%)	始発(h-m)	終結(h-m)		3日	7日	28日
N	普通	3.14	3,180	27.3	2-35	3-50	良	30.3	46.9	62.9
T	試製	3.12	3,540	28.2	3-05	4-10	良	25.5	41.6	63.3
B	高炉	3.02	3,840	28.9	3-35	5-00	良	21.6	37.1	63.5

表2 細骨材の物理試験結果

種類(産地)	密度(g/cm ³)		単位容積質量(kg/L)	実積率(%)	微粒分量(%)	吸水率(%)	粗粒率F.M.
	絶乾	表乾					
陸砂(静岡 大井川産)	2.57	2.61	1.70	66.1	4.5	1.68	2.71
砂岩砕砂(東京 青梅産)	2.66	2.69	1.75	65.8	0.7	1.02	2.96

表3 粗骨材の物理試験結果

種類(産地)	密度(g/cm ³)		単位容積質量(kg/L)	実積率(%)	微粒分量(%)	吸水率(%)	粗粒率F.M.
	絶乾	表乾					
砂岩碎石(東京 青梅産)	2.67	2.68	1.59	59.6	0.4	0.46	6.75

表4 混和剤の成分および物性

種類	記号	主成分	密度(g/cm ³)	アルカリ量(%)	塩素イオン量(%)
増粘剤一液タイプ 高性能 AE 減水剤	VSP	ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物の複合体	1.03～1.10	1.0	0.00
AE 助剤	-	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤	1.02～1.06	1.7	0.01

表5 コンクリートの配合

配合No.	目標SLF(cm)	材齢28日 目標強度(N/mm ²)	セメントの種類	細骨材の種類	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)				材齢28日 圧縮強度(N/mm ²)
							W	C	S	G	
1	50±2.0	40	普通(N)	陸砂	47.5	52.7	175	368	921	833	41.0
				砕砂			175	368	942	833	43.8
			試製(T)	陸砂			175	368	918	833	44.3
				砕砂			175	368	939	833	47.7
			高炉(B)	陸砂			175	368	913	827	38.6
				砕砂			175	368	933	827	41.7
2	60±2.0	42	普通(N)	陸砂	46.0	50.8	178	387	876	854	44.0
				砕砂			178	387	896	854	48.0
			試製(T)	陸砂			178	387	873	854	50.4
				砕砂			178	387	893	854	54.4
			高炉(B)	陸砂			178	387	868	851	43.3
				砕砂			178	387	882	851	47.6

Study on workability evaluation test for self-compacting concrete

コンクリート専門委員会(2022年9月現在)

委員長 石田 征男 [太平洋セメント(株)]
委員 小倉 東 [日鉄セメント(株)]
加藤 弘義 [(株)トクヤマ]
田原 和司 [デンカ(株)]
平本 真也 [日鉄高炉セメント(株)]
西 元央 [住友大阪セメント(株)]
伊藤 智章 [UBE三菱セメント(株)]

表6 試験方法および評価項目

試験方法および評価項目		各基準・規格の指標		
		JIS	JSCE (土木学会基準)	高流動指針
スランブフロー： JIS A 1150「コンクリートのスランブフロー試験方法」	スランブフロー	50 cm±7.5 cm 60cm±10cm	—	—
	50cm フロー到達時間	10 秒以下 (目標 SLF60cm)	—	3～15 秒 (ランク 3)
	流動停止時間	—	—	—
J リングフロー： JIS A 1159「コンクリートの J リングフロー試験方法」 JIS A 1160：「増粘剤含有高性能 AE 減水剤を使用した高流動コンクリートのワーカビリティの評価基準」	J リングフロー	ブロッキング値： 7.5cm 以下	—	—
	間隙通過性	PJ 値： 50 c m→6 c m 以下 60 c m→4 c m 以下	—	—
	J リングフロー流動時間 (J リングフローが 50cm に到達するまでに要した時間)	2～20 秒	—	—
	間隙通過性：(No.1 のみ実施) JSCE-F 701「ボックス型容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法（案）」 (以下，加振ボックス試験と称す)	間隙通過速度	—	19cm 到達時間 30 c m 到達時間
自己充填性：(No.2 のみ実施) JSCE-F 511：「高流動コンクリートの充填試験方法（案）」 (以下，ボックス試験と称す)	充填高さ	—	30cm 以上	—
	粗骨材量比率	—	流動障害通過後/計画配合の単位粗骨材量	—
自己充填性： JSCE-F 512：「高流動コンクリートの漏斗を用いた流下試験方法（案）」 (以下，0 漏斗試験と称す)	漏斗流下時間	—	—	粉体系： 4～11 秒(ランク 3) 増粘剤系： 7～20 秒

微粉末5%を内割で置換，以下試製，記号 T)および高炉セメントB種(以下高炉，記号 B)の3種とした。細骨材は陸砂または砕砂を，粗骨材には砂岩碎石を使用した。また，混和剤は，増粘剤含有高性能 AE 減水剤(記号 VSP)および AE 助剤を使用した。表 1～4 に使用材料の物性を示す。

2-2. 配合

表 5 にコンクリートの配合を示す。本検討ではスランブフロー 50±2.0cm および 60±2.0cm の 2 種類の高流動コンクリートを対象とし，試験水準はセメントと細骨材を要因として，12 水準のコンクリートを用いて評価した。

なお,目標強度とW/Cは過去の実績を参考に設定した。以下，目標 SLF50cm の配合を No.1，目標 SLF60cm の配合を No.2 と称す。

2-3. 試験項目

フレッシュコンクリートの試験は，流動性や材料分離抵抗性の指標となる表 6 の項目について行った。

3. 試験結果

3-1. 混和剤添加量およびスランブフロー

表 7 に各配合における混和剤添加量とスランブフロー

表7 混和剤添加量およびスランブフロー試験結果

配合 No.	目標 SLF (cm)	セメントの種類	細骨材の種類	混和剤添加量		スランブフロー		
				VSP (C×%)	AE (C×%)	フロー値 (cm)	50cm フロー到達時間 (s)	流動停止時間 (s)
1	50±2.0	普通 (N)	陸砂	1.80	0.05	49.5	—	9.2
			砕砂	1.85	0.05	52.0	7.9	9.7
		試製 (T)	陸砂	1.70	0.04	51.5	7.9	9.8
			砕砂	1.75	0.04	52.0	6.8	13.5
		高炉 (B)	陸砂	1.60	0.09	50.5	6.0	8.4
			砕砂	1.65	0.09	51.0	4.9	8.0
2	60±2.0	普通 (N)	陸砂	1.80	0.06	59.5	5.6	16.4
			砕砂	1.90	0.06	62.0	3.8	16.1
		試製 (T)	陸砂	1.70	0.05	60.0	6.9	17.2
			砕砂	1.75	0.05	62.0	4.8	21.0
		高炉 (B)	陸砂	1.65	0.10	59.5	3.2	16.8
			砕砂	1.65	0.10	61.5	2.6	25.5

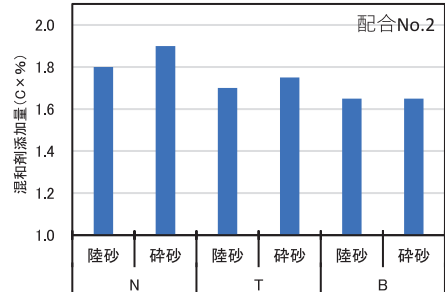
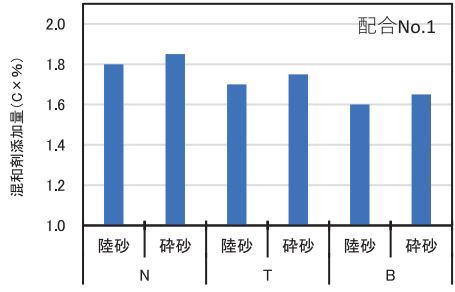


図 1 セメントの種類と混和剤添加量の関係

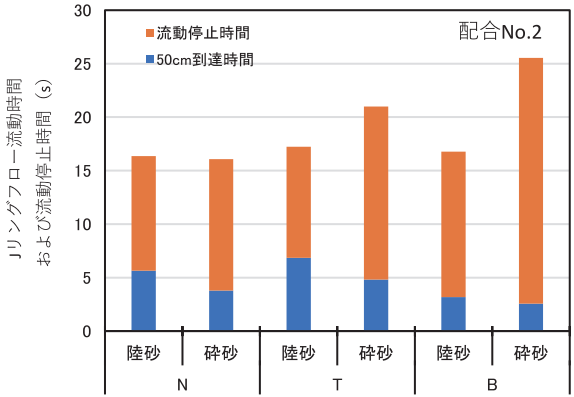


図2 配合 No.2における各水準のスランブフロー 50cm 到達時間と流動停止時間

試験の結果を示す。以下，各結果について記述する。

(1) 混和剤の添加量

各配合におけるセメントの種類と混和剤添加量の関係を図 1 に示す。目標スランブフロー 50cm の配合 No.1 および目標スランブフロー 60cm の配合 No.2 ともに同一スランブフローを得るための混和剤の添加量は，普通>試製>高炉の順となった。また，細骨材種と混和剤添加量との関係を整理すると，同一スランブフローを得るための混和剤の添加量は，砕砂>陸砂となった。

(2) 50cm フロー到達時間および停止時間

配合 No.2 における 50cm フロー到達時間および流動

表8 Jリングフロー試験結果								
配合 No.	目標 SLF (cm)	セメント の種類	細骨材 の種類	J リングフロー				
				J リングフロー (cm)	J リングフロー 到達時間(s)	流動停止 時間(s)	PJ 値 (cm)	ブロッキング 値(cm)
1	50±2.0	普通 (N)	陸砂	45.0	—	6.6	1.5	4.4
			砕砂	47.0	—	9.9	3.6	5.0
		試製 (T)	陸砂	46.5	—	12.3	4.2	5.0
			砕砂	48.5	—	12.6	2.3	3.4
		高炉 (B)	陸砂	45.5	—	11.8	3.1	5.1
			砕砂	45.5	—	12.5	7.5	5.0
2	60±2.0	普通 (N)	陸砂	55.0	4.6	22.3	1.8	4.1
			砕砂	58.0	5.2	22.6	2.2	3.7
		試製 (T)	陸砂	58.0	6.9	22.2	3.0	2.1
			砕砂	59.5	4.9	20.8	2.6	2.5
		高炉 (B)	陸砂	56.0	1.3	18.7	2.7	3.2
			砕砂	59.0	3.3	21.0	2.9	2.9

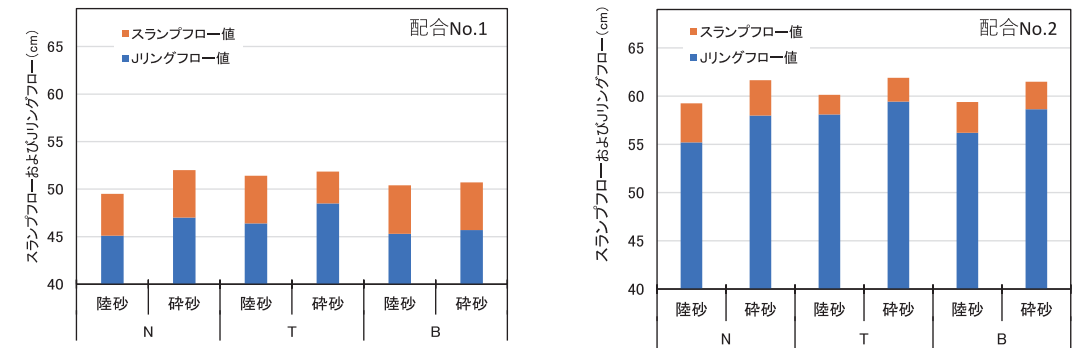


図3 各水準におけるJリングフローとスランプフロー

停止時間を図2に示す。すべての水準でJIS A 1150のスランプフローおよび50cmフロー到達時間の評価基準(10秒以下)において流動性の指標を満たしていた。また、配合No.2は、高炉・砕砂の組合せにおける到達時間が高流動指針に示されている自己充填性のランク3の目標下限値3秒を下回ったが、その他の水準は目標範囲内であった。配合No.2において、高炉を用いた場合は、普通や試製の場合と比べて、50cmフロー到達時間から算定したコンクリートの流動速度は速くなる傾向であった。

3-2. Jリングフロー

表8に各配合Jリングフロー試験の結果を示す。以下、結果について記述する。

(1) J リングフロー

各水準におけるJリングフローとスランプフローの値を図3に示す。Jリングフローの値は、スランプフローを混和剤添加量で調整したことによって、セメントと細骨材種類による大きな違いは認められなかった。

配合No.2における各水準のJリングフロー流動時間および流動停止時間を図4に示す。Jリングフロー流動

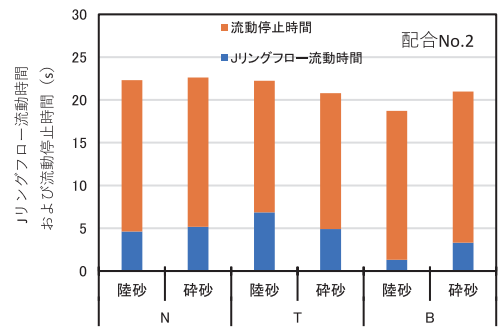


図4 配合No.2における各水準のJリングフロー流動時間および流動停止時間

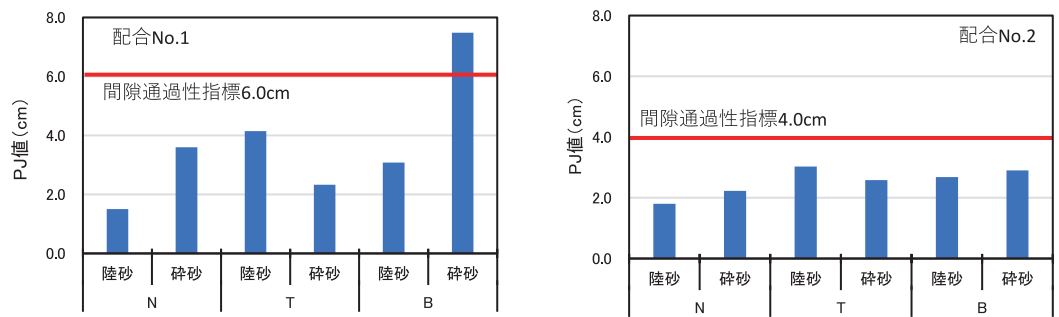


図5 各水準におけるPJ値

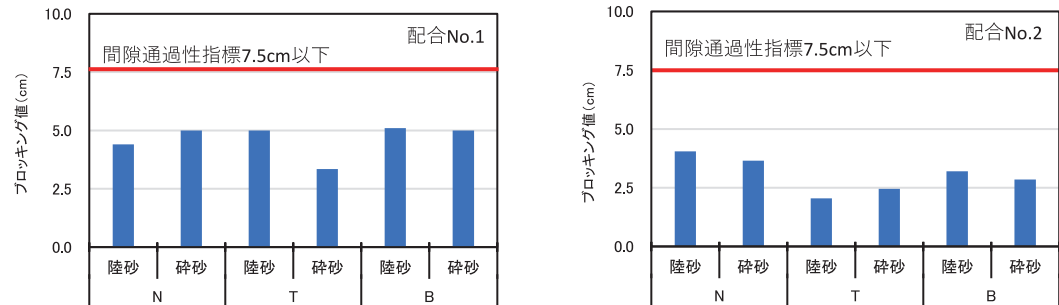


図6 各水準におけるブロッキング値

時間は、高炉の水準がJIS A 1160の評価基準2～20秒よりも若干速い結果であったが、その他のコンクリートは評価基準を満足する結果であった。また、セメント種類がJリングフロー流動時間に及ぼす影響を検証すると、高炉を用いた場合、普通や試製の場合と比べてJリングフロー流動時間が短く流動速度が速い傾向にあり、前述のスランプフロー測定時の50cm到達時間と同様の傾向を示した。

(2) PJ 値およびブロッキング値

PJ 値の測定結果を図5に、ブロッキング値の測定結果を図6に示す。PJ 値は、配合No.1 の高炉・砕

砂の水準を除き、いずれの配合においてもJIS A 1160の間隙通過性の指標値を下回っており、材料分離を生じることなく間隙通過性が良好であった。また、ブロッキング値は、配合No.1 および配合No.2ともいずれのセメント種類においてもJIS A 1160の指標値である7.5cm 以下となり良好な間隙通過性を示していると言える。

3-3. 加振ボックス試験における間隙通過速度および粗骨材量比率

表9および図7に加振ボックス試験における間隙通

表9 加振ボックス試験結果(No.1のみ実施)

セメントの種類	細骨材の種類	間隙通過速度 (mm/s)	粗骨材量比率 (%)	
			A 室	B 室
普通 (N)	陸砂	23.9	121	98
	砕砂	23.9	124	98
試製 (T)	陸砂	45.2	113	100
	砕砂	42.3	115	101
高炉 (B)	陸砂	38.1	122	103
	砕砂	35.8	126	102

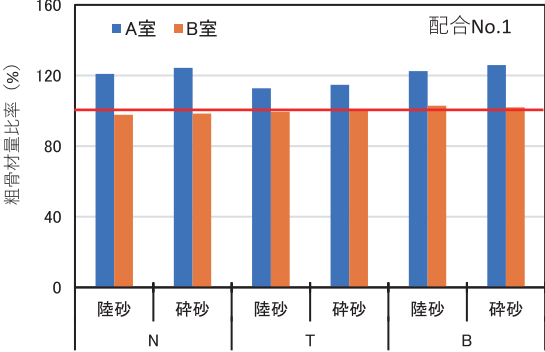


図7 加振ボックス試験における粗骨材量比率

表10 ボックス試験結果(No.2のみ実施)

セメントの種類	細骨材の種類	粗骨材量比率 (%)		充填高さ (cm)
		A 室	B 室	
普通 (N)	陸砂	110	97	33.4
	砕砂	113	94	11.5
試製 (T)	陸砂	108	103	32.6
	砕砂	109	100	33.4
高炉 (B)	陸砂	111	99	32.5
	砕砂	117	98	33.4

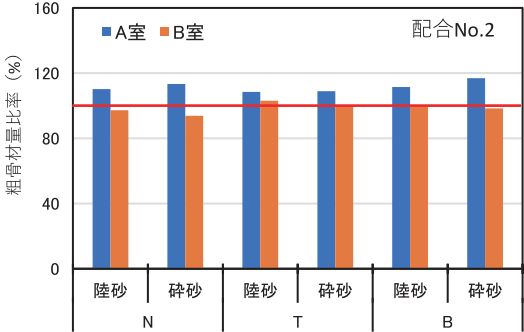


図8 ボックス試験における粗骨材量比率

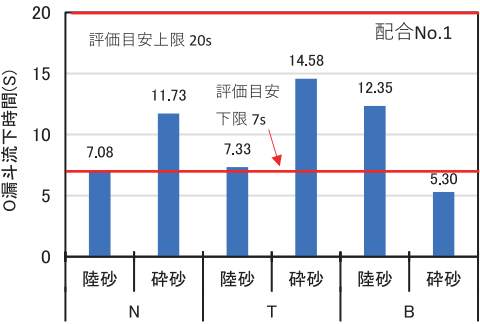
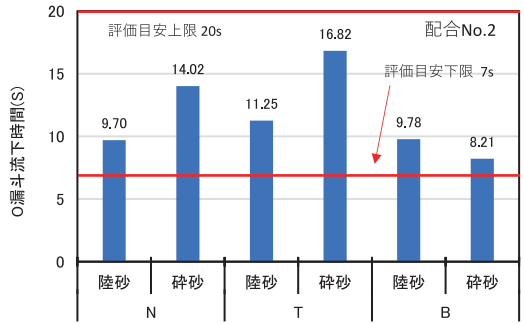


図9 O漏斗流下時間



れたが、いずれの水準も骨材の沈下は少なく、材料分離は認められなかった。

3-4. ボックス試験における粗骨材量比率

表10および図8にボックス試験における粗骨材量比率の結果を示す。なお、充填高さは、普通・砕砂

の組合せを除く水準で、高流動指針に示された30cmの基準を満足していた。すべての水準においてA室とB室で粗骨材量比率に若干の差が認められたが、いずれの水準も骨材の沈下や材料分離は認められなかった。セメント種類ごとにA室とB室の粗骨材量比率の差を比較すると、普通が13～19%、高炉が12～19%であったのに対し、試製セメントでは5～9%と最も差が小さかった。

3-5. O漏斗流下時間

図9にO漏斗流下時間の試験結果を示す。一部水準で、高流動指針における自己充填性のランク3の評価目安である7～20秒を若干下回ったが、ほぼ全ての水準で評価目安を満足した。

4. まとめ

セメント協会で検討しているコンクリートの施工性能に関するフレッシュ性状の評価や配合などの留意点、配合設計手法に関する技術的な情報収集の一環として、セメント3種類、細骨材2種類、配合条件2種類の組合せによる種々のコンクリートについて、充填性の諸性状を確認するとともに、Jリングフロー試験による適用性を確認した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 所定のスランプフローを得るための混和剤添加量は、使用したセメントの種類によって異なり、多い順に普通>試製>高炉となった。また、細骨材の種類による影響は、砕砂>陸砂となった。
- (2) 50cmフロー到達時間については、配合No.1および配合No.2ともに、JIS A 1150の指標である10秒以下を満足する結果であった。また、高流動指針の自己充填性のランク3における評価の目安となっている50cmフロー到達時間の範囲3～15秒に対しては、配合No.2において3秒以下の結果が一部認められたが概ね指標の範囲内であった。高炉

を用いた場合は、普通や試製と比較して、流動速度が速い傾向であった。

- (3) Jリングフローの値は、スランプフローを混和剤添加量で調整したことによって、セメントと細骨材種類によって大きな違いは認められなかった。
- (4) PJ 値およびブロッキング値は、配合No.1および配合No.2ともにJIS A 1160に示されているの評価基準の指標をほぼ満足しており、良好な間隙通過性を示した。
- (5) 加振ボックス試験における間隙通過速度は使用するセメントの種類によって異なり、試製>高炉>普通の順で速くなる傾向であった。また、各種ボックス試験より算出した間隙通過試験による粗骨材量比率の結果から、いずれのセメント種類においても骨材の沈下はなく、材料分離は認められない結果であった。
- (6) O漏斗試験における流下時間は、配合No.1および配合No.2ともに示方書および高流動指針における自己充填性のランク3の評価目安(7～20秒)をほぼ満たす結果となった。

【参考文献】

- 1) 土木学会／コンクリートライブラリー136 高流動コンクリートの配合設計・施工指針，2012 年

過速度を示す。間隙通過速度は試製>高炉>普通の順で速い結果であった。また、細骨材種類の影響は明確には認められず、セメント種類の影響が強く表れていた。図8に間隙通過性を表す粗骨材量比率の結果を示す。粗骨材量比率は、A室が100%以上(+14～26%)、B室は100%±10%以内となり若干の差は認めら

セメント改良土とセメント改良技術 ～コンクリートとの比較～

Cement stabilized soil and stabilization techniques ～ Comparison to Concrete ～

北詰 昌樹

1. はじめに

セメントまたはセメント系固化材と土砂を攪拌混合して作製される人工の土をセメント改良土、セメント安定処理土またはセメント固化処理土などと呼ばれ、その作製技術はセメント改良技術、セメント固化処理技術やセメント安定処理技術などと呼ばれる(本稿では、便宜的にセメント改良土とセメント改良技術と呼ぶ)。セメント改良技術は、原位置またはプラントなどで土砂とセメントとを攪拌混合して強固な人工土・人工地盤を造成する工法で、道路の路盤や路床の改良を目的に開発されたのが最初である。その後、わが国では高度成長期において、沿岸部の軟弱な粘土地盤の改良を目的にセメントを用いた深層混合処理工法が開発された。その後、多種多様な工法が開発されるにつれ、その用途も広がり、地盤の補強、地盤沈下対策、液状化対策などにも広く適用されている。さらに、浚渫土の有効利用、汚染土の不溶化処理などにもセメント改良技術は用いられてきており、いまやインフラ整備には必要不可欠な工法・技術となっている。

さて、コンクリートも土砂とセメントの混合物であり、セメント改良土はコンクリートの一種と言えなくはない。しかし、その配合、製造方法や性質などはコンクリートと大きく異なっている。そこで、今回表1に示すように7回のシリーズでセメント改良技術を紹介することにした。本稿では、シリーズの初回としてセメント改良土とコンクリートとの違い、改良土の性質と配合設計の基

表1 本シリーズのテーマ一覧(予定)

回数	タイトル	内容	執筆者 (敬称略)
1	セメント改良土とセメント改良技術ーコンクリートとの比較ー	セメント改良土とコンクリートの違い、セメント改良土の配合設計の基本的考え	北詰昌樹
2	セメント改良土の基本的特性	セメント固化処理の原理、改良土の基本特性と及ぼす因子	野崎隆人
3	セメント改良技術(浅層混合処理)	道路路盤・路床への適用(超軟弱地盤の表層改良)	東洋スタビ
4	セメント改良技術(中層混合処理)	パワーブレンダー(Will工法など)	パワーブレンダー工法協会
5	セメント改良技術(深層混合処理)	機械式(CDM工法)	CDM研究会
6	セメント改良技術(深層混合処理)	機械式(DJM工法)	DJM工法研究会
7	おわりに	海外でのセメント改良技術	北詰昌樹

表2 セメント改良土とコンクリートの比較

項目	セメント改良土	コンクリート
配合・材料	セメント、水、土(砂質土、粘性土、腐植土)	セメント、水、細骨材、粗骨材、混和材・剤
一軸圧縮強さ	数100 kPa - 数MPa	数10 MPa
製造場所	原位置、現場プラント	認定プラント

本的な考え方、各種の改良工法の特徴と概要、適用事例などを簡単に紹介する。

2. セメント改良土とコンクリート

先述のようにコンクリートも土砂とセメントの混合物であり、セメント改良土はコンクリートの一種と言えなくはない。しかし、その用途は大きく異なり、結果として目標強度、配合、性質は大きく異なっている。表2は、コンクリート

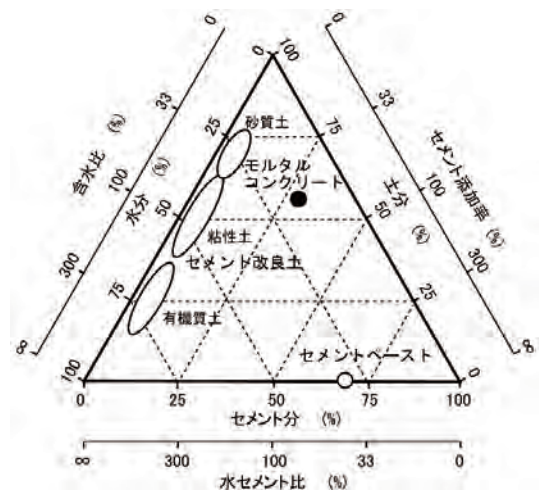


図1 セメント改良土の成分図

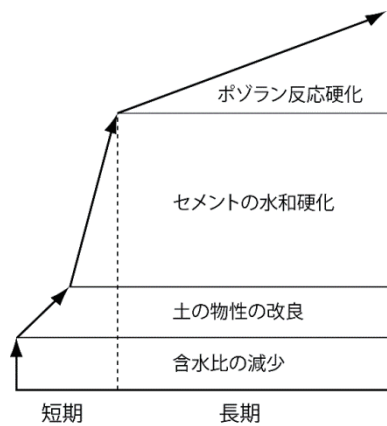


図2 セメント改良土の強度増加モデル

と改良土を比較したものである。

まず、配合・材料について見ると、コンクリートはセメント、水と碎石(細骨材、粗骨材)と混和剤(材)が主な材料である。一方、セメント改良土はセメント、水と現地の土砂が主な材料である。改良対象の土砂は多種多様であるが、多くは粘性土、砂質土や腐植土などが多く、碎石が含まれることは希である。

コンクリートの目標強度は数10MPaオーダーである。一方、セメント改良土の目標強度は、目的・用途ごとに大きく異なるが、地盤の安定・補強目的の場合には数MPa程度、土圧低減が目的の場合には200～500 kPa程度、液状化防止の目的では100 kPa程度である。このように、コンクリートとセメント改良土の目標強度は10～100倍程度も異なっている。

また、コンクリートが認定されたプラントで製造されるのに対し、改良土は原位置の地中または現地に設置さ

表3 材料の品質規定

項目	セメント改良土	コンクリート
セメント	適合条件(JIS R 5210, JIS R 5211, セメント系固化材など)	品質規定(JIS R 5210, JIS R 5211, …)
水	現地水(上水道水、海水ほか)	品質規定(上水道水, JSCE-B 101 またはJIS A 5308)
土(細骨材、粗骨材など)	現地土(砂質土、粘性土、腐植土ほか)	品質規定(標準示方書, JIS)
混和材・剤	—	品質規定(JIS)

れた混合プラントで製造される。

図1には、セメント改良土とコンクリート、セメントペーストとの配合を比較して示した。セメント改良土の配合は工法や用途などによって異なるが、一般的には、土分は90%程度、水分は30～80%程度、セメント分は数%程度である。一方、モルタルやコンクリートの場合、土(碎石)分は70%程度、水分は20%程度、セメント分は25%程度である。このように、改良土はセメントで固化しているとは言え、母材の土の割合が大きく、性質も母材の性質・特性に大きく影響を受ける。

表3は、各種の材料に関する品質規定をまとめたものである。コンクリートの場合には、セメントだけでなく水、碎石なども細かく品質規定がされている。一方、セメント改良土の場合には、セメントは普通ポルトランドセメントまたは高炉セメントB種が多く用いられ、その品質はJISで規定されているが、土砂や水については現地のものを使用する。

このように、コンクリートが品質管理された一種の工場製品であるのに比べて、セメント改良土は現地の状況に合わせたオーダーメイドの人工土と言える。そのため、改良土の性質、品質などは土砂の種類と特性、攪拌混合の機械・手順と技術のレベルなどに大きく影響される。

3. セメント改良土の特性

(1) 強度に及ぼす影響因子

図2は、セメント改良土の強度増加のモデルを示した(セメント協会, 2022)。セメント改良においては、まず、セメントとの攪拌混合によって土中の水分がセメン

表4 強度に及ぼす影響因子

I	固化材の特性	1. 固化材の種類 2. 特性(活性度) 3. 練り混ぜ水,添加剤
II	対象土の特性と状態	1. 土の物理的・鉱物的性質 2. 有機物含有量 3. 間隙水のpH 4. 含水比
III	攪拌条件	1. 混合程度 2. 混合・再混合のタイミング 3. 添加量
IV	養生条件	1. 温度 2. 養生時間 3. 湿度 4. 乾湿繰返し,など

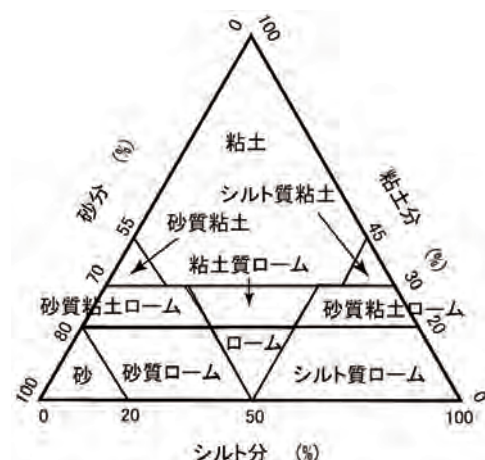


図3 土の成分

トに吸着・吸水されて水分が減少することにより土の特性が変化し強度が増加する。その後、セメントの水和反応によって強度が急増する。その後、セメントの水和反応で生じる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と土粒子とのポゾラン反応が生じ長期にわたり安定的な反応物の析出による強度増加が生ずる。

表4にセメント改良土の強度に及ぼす影響因子をまとめて示した。改良土の強度は多くの要因によって影響される。特に、改良対象の土は改良土全体に占める割合も大きいので、その性質に大きく影響される。土の成分は、図3に示すように砂分、シルト分と粘土分に大別することができ、それぞれの割合によって粘土～シルト～ローム～砂に大別できる。

改良効果に影響を及ぼす土質の要因としては、粘土鉱物、有機物、含水比、pHがある。まず、粘土鉱物については、ケイ素、アルミニウム、酸素および

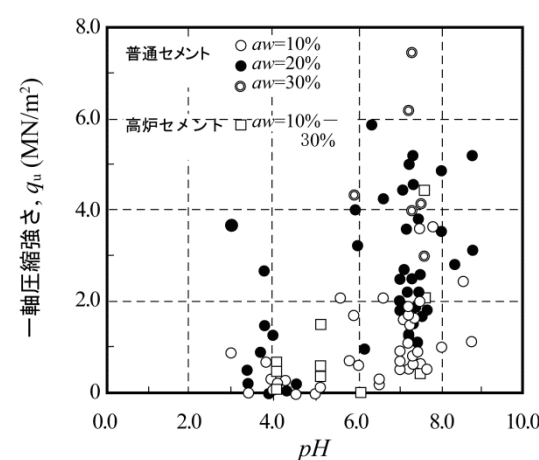


図4 pHと一軸圧縮強度の関係(馬場崎ほか, 1996)

水素を主成分とする層状ケイ酸塩鉱物である。主成分の含有量や結晶構造の違いによって多くの種類がある。粘土鉱物によってセメントの水和反応が阻害されることが多い。次に、有機物を多く含有する土は、有機物によりセメントの水和やポゾラン反応に影響を与え、強度発現を阻害する。土の含水比は、水分が多いほどセメント改良土中の水の割合が多くなるため改良効果が小さい。土中の塩類の溶脱や硫化物の酸化によって、pHが4～5を示すような酸性土が生成されるが、そのような酸性土は、十分な強度発現が得られない。図4はその一例であるが、pHが6程度以上であれば1MPa程度以上の強度が得られているが、pHが5程度以下になると強度増加傾向は小さくなり、普通ポルトランドセメントや高炉セメントでは強度を得ることが難しい場合も多い。このような土質には有機質土を対象としたセメント系固化材を用いる必要がある。

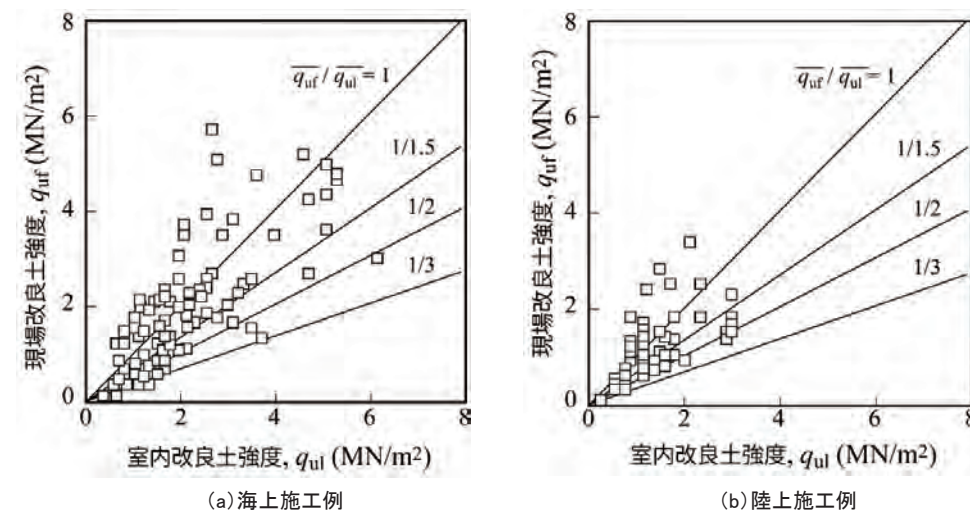


図5 室内配合強度 q_{ul} と現場強度 q_{uf} の相関(セメント協会, 2022)

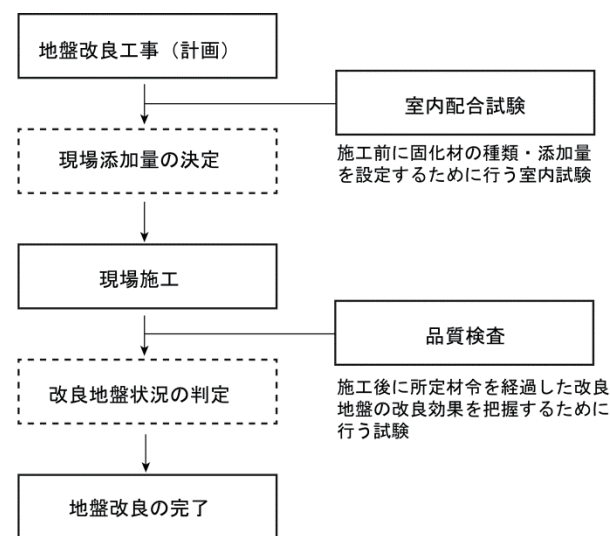


図6 地盤改良工事の流れ

(2) 現地改良土と室内改良土

室内で作製された改良土と現地で作製された改良土は、攪拌混合の方法と混合の程度、養生条件が大きく異なるために、強度も大きく異なる。一般には、現地改良土の強度は室内改良土の強度に比べ、低強度で強度のばらつきが大きい。図5に、深層混合処理工法で作製された現地改良土の強度と室内改良土の強度との比較を示した。いずれの場合も大きなばらつきが見られているが、現場改良土の強度は室内改良土の強度の1/3～1程度である。

(3) 配合設計

先述のようにセメント改良土の配合は個々の現場での目標強度、地盤の条件などに合わせてその都度設

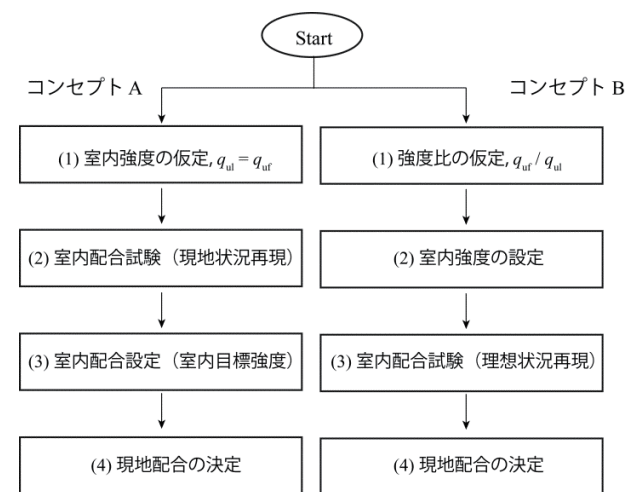


図7 室内配合試験の基本的な考え

定されている。図6は地盤改良工事の流れを示した。まず、地盤改良工事が計画されると室内配合試験を行って現場添加量(配合)を決定する。現場施工の後には品質検査を行って所定の強度が発揮されているかを判定する。

現地で所定の強度を得るために固化材の種類と配合を決める必要がある。配合と強度推定式はいくつか提案されているが、いずれも特定の現場、土質条件、固化材を基に求められたものであるため、汎用性には乏しい。そのため、個々の現場ごとに室内配合試験を行って決定するのが一般的である。現地での攪拌混合の機械と方法、ならびに攪拌混合後の養生条件は室内室内での条件と大きく異なる。そのため、図7に示すように

	工法名	混練り方法	
プ ラ ン ト 混 合	プラント混合処理	混練りミキサを利用した混合	
	管中混合処理	プラグ流を利用した混合	
	事前混合処理工法	ベルトコンベヤ上での混合	
	流動化処理工法	混練りミキサによる混合	
	軽量混合処理土工法	混練りミキサによる混合	
原 位 置 混 合	浅層改良工法	バケットやスタビライザによる混合	
	中層改良工法	トレンチャ式,ロータリー式による混合	
	深 層 混 合 処 理 工 法	機械式攪拌	攪拌翼による混合
		高圧噴射式攪拌	高圧噴射を利用した混合
		機械・高圧噴射式併用	機械式と高圧噴射式を併用した混合
		ソイルセメント地中連続壁	攪拌翼による混合

現地配合を決める基本的な考え方は2つある。

コンセプトA： 現地の攪拌混合状態を再現し、 直接現場の配合を決める考え方

まず、 現地から採取した土砂に現地で想定されるセメント水比を有するセメントスラリーを攪拌混合し、 現地で想定される密度になるようにモールドに詰め、 室内で養生する。 所定の養生期間の後、 一軸圧縮試験を行い現地強度が得られるセメント量を求める。 その際、 安全策として10～15%程度セメントを割り増しする。

コンセプトB： 理想的な攪拌混合を再現し、 現場改良土と室内改良土の強度比を考慮して配合を決める方法

まず、 現場改良土と室内改良土との強度比を基に、 室内改良土の目標強度を設定する。 その後、 現場で採取された土に水分を加えて均一で高い液性を有するスラリー状の土を作製する。 その後セメントと攪拌混合して高い流動性を有する改良土を作製し、 タッピング法と呼ばれる方法でモールドに詰める。 恒温恒湿条件で所定期間の養生の後、 一軸圧縮試験を行い、 目標の室内強度が得られるセメント配合を決定する。

コンセプトAは海外で多く採用されている方法である

が、 ポイントはいかに現地の攪拌混合状態を想定し室内で再現するかに尽きる。 しかし、 残念ながら現地の状態はよく分かっていないのが実情である。 コンセプトBは日本で多く採用されている方法である。 ここでもポイントは、 現地強度と室内配合強度との比、 q_{uf}/q_{ul} であり、 図5に示したようなデータベースを参照することができる。 ここで、 室内配合強度は、 後述する室内配合試験法で求められているために信頼性、 再現性が高い。 一方、 現地強度は施工機械・方法、 養生方法などの影響が大きく、 現場強度が大きくばらついているのが実情である。 最近、 海外でもコンセプトBの考え方が用いられる事例が増えている。 しかし、 強度比のデータベースが整っていないために、 わが国のデータベースをそのまま流用しているのが実情である。

わが国の室内配合試験での試験体の作製方法はJISならびにセメント協会で規定されていることから、 実工事でも研究でもほぼ同じ方法が採用されており、 そのため試験結果も直接比較することは可能である。 一方、 世界では統一された試験法はなく、 各国・各機関・各現場で独自の方法で試験体が作製されているために相互に比較することは困難である。

4. セメント改良技術

セメント改良技術は多種多様であるが、 表5に示すようにプラント方式と原位置方式に大別することができる。 プラント方式の技術は対象土を現地のプラントまたは圧送中のパイプ内でセメントと攪拌混合し、 造成された改良土を現地に運搬し埋立などに用いられる。 主な用途は良質の埋立材の作製で土圧の低減や地盤沈下の抑制などの目的で用いられる。 最近は重金属などで汚染された土砂からの溶出を防止するための環境面での用途も増えている。

一方、 原位置方式は改良深度を基に浅層、 中層、 深層混合処理に分類できる(図8参照)。 浅層改良工法は、 地表面から数mの地層を攪拌混合するもので、 道路の路盤・路床の改良、 超軟弱な埋立地盤の表

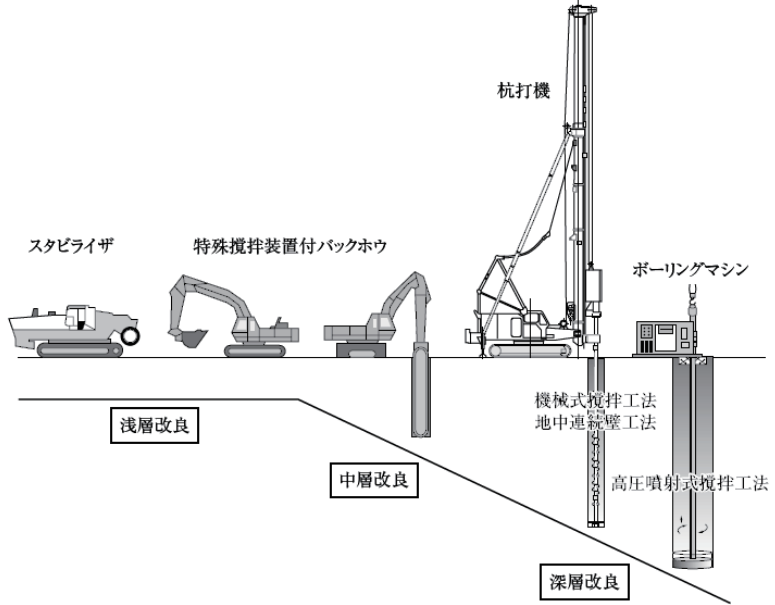


図8 原位置攪拌工法

層固化があげられる。 前者の場合には粉体状のセメントが、 後者の場合にはセメントスラリーが用いられる。 中層改良工法は、 地表面から10m 程度まで改良する技術である。 攪拌機械は多種多様で、 鉛直の軸に水平面内で回転する攪拌翼をとりつけたもの、 水平の軸に鉛直面内で回転する攪拌翼をとりつけたもの等がある。 いずれも、 クローラークレーンをベースにした機械を使用するために機動性に優れ、 最近適用事例が増えている。 中層改良工法の場合には、 セメントスラリーを用いる工法が多い。 深層混合処理工法は、 1970 年代に開発された工法で、 地表面から30～50m 程度まで改良が可能である。 基本的に、 3点支持の大型クレーンを用い、 鉛直の軸に水平面内で回転する攪拌翼で地盤と固化材を混合攪拌する。 固化材はスラリー状または粉体状で、 攪拌翼を貫入または引き抜く時に地中に吐出され地盤と攪拌混合される。

5. おわりに

本稿では、 まずセメント改良土とコンクリートの違いを配合・材料、 目標強度、 製造法などの観点から簡単に説明した。 コンクリートは、 品質管理された材料(セメント、 水、 砕石など)を管理されたプラントで製造される一種の工場製品であるのに対して、 セメント改良土

は現地の土砂を対象に現地で入手可能な方法・機械で攪拌混合するオーダーメイドの材料と言える。 さらに、 改良土に占める土砂の割合が大きいため改良土の強度は母材の土の性質に大きく影響を受ける。 そのため事前に強度推定をすることが困難で、 工事ごとに室内配合試験を行って配合を決定し、 施工後には強度測定してその品質を確認している。

本シリーズでは、 次回にセメント改良土の基本的な性質・特性を説明した後に、 原位置混合方式の浅層、 中層、 深層混合処理について、 開発の目的と歴史、 用途などを簡単に説明するとともに代表的な工法について施工機械、 施工法、 改良土の特性などについても紹介する予定である。

本シリーズが、 セメント改良土と改良技術の理解に役立つことを願っている。



きたづめ まさき / KITAZUME Masaki
北詰ジオテクニクス 代表
博士(工学)

【参考文献】

- セメント協会編／セメント系固化材による地盤改良マニュアル(第5版)、2022
- 馬場崎亮一、寺師昌明、鈴木健夫、前川 淳、川村政史、深沢栄造／安定処理土の強度に及ぼす影響因子、土質工学会、セメント系安定処理土に関するシンポジウム、pp. 20～41、1996

日をまたいで打重ねを行うことによる マスコンクリートの合理化施工

Mass concrete construction using concrete with large amounts of retardant

向 俊成 芦澤 良一 渡邊 賢三 榎原 賢 塩見 尚潔 村田 賢士 尾関 淳

1. はじめに

施工するコンクリート量が多い、または面積が広い構造物を構築する場合には、複数のブロックに分割して構築する必要がある。特に都市土木の現場の場合、近隣対応のため作業可能な時間や入場できる車両の台数が制限され、1日当たりのコンクリートの供給量が少なくなり、結果として1ブロックが小さくかつブロック数が増える傾向にある。コンクリートを分割して施工する際には打継目を設けることになるが、打継目は構造や耐久性の観点から弱点となりやすく、また漏水等の発生リスクが高くなる。また、打継ぎを行う際には表面のレイトンスや品質の悪いコンクリート、緩んだ骨材を取り除く必要があるが、この作業は組み立てられた

鉄筋内部で行うため、作業性の低下や処理残しなどが懸念される。さらに、型枠の組みばらしや機械類の段取り替えの増加につながり、工程確保の支障にもなる。これらの問題を解決できる手法として、許容打重ね時間間隔を24時間まで延長したコンクリートを利用し、日をまたいで打重ねを行うことで、レイトンス処理を不要としつつ、打継目を最小限にする工法について検討した。本稿では本工法における工夫と適用実績について紹介する。

2. 工法の概要

本工法は、硬化したコンクリートに新しいコンクリートを一体化する「打継ぎ」から、まだ硬化していないコンクリー

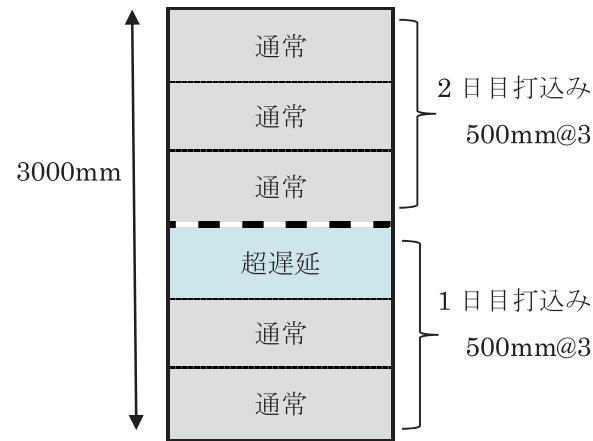


図1 超遅延コンクリートを使用したリフト割

表2 超遅延コンクリートの配合

配合	W/C (%)	単位量 (kg/m³)				使用量 (kg/m³)		
		W	C	S	G	SP	AD	Vis
冬期配合	48.8	165	338	815	1009	SP1 2.87	2.03	0.20
夏期配合						SP2 2.70	1.83	0.20

C：低熱ポルトランドセメント SP2：高性能 AE 減水剤（遅延形）
S：山砂 密度 2.62g/cm³ AD：遅延剤（オキシカルボン酸系）
G：砕石 2005 密度 2.69g/cm³ Vis：増粘剤（セルローズ系）
SP1：高性能 AE 減水剤（標準形）

トに新しいコンクリートを一体化する「打重ね」とすることで、打継ぎ処理を不要とし、構造物の品質の向上を図りつつ工程を短縮する工法である。本工法は遅延剤を大量に添加することで、打重ね可能な状態を24時間程度の長時間にわたって保持することのできるコンクリートを使用することが特徴である。工法の概念図を図1に示す。1日目は通常のコンクリートで下層を打ち込んだ後、超遅延コンクリートを最終層に打ち込む。これにより、1日目の打込みが完了後、夜間の中断をはさんでもコンクリートはフレッシュな状態を保持して、翌朝新たに上層のコンクリートを打ち重ねることができる。

3. 超遅延コンクリートの概要

遅延剤を添加することによりコンクリートの凝結時間を制御する方法は数多く検討されており¹⁾、様々な遅延剤が

表1 超遅延コンクリートの仕様

項目	目標値	試験方法
スランプ	16±2.5cm	JIS A 1101
空気量	4.5±1.5%	JIS A 1128
圧縮強度	30N/mm²以上(材齢 28 日)	JIS A 1108
ブロッカー	0.1N/mm² を超えるまでの	JIS A 1147
貫入抵抗	時間が 28 時間以上	
ブリーディング量	0.35cm³/cm² 以下	JIS A 1123

発売されている。一方で、遅延剤のみを大量に添加し、長時間にわたってフレッシュな状態を保持した場合、ブリーディング量が増加し、鉄筋や鋼材の下部に滞留して隙間が生じることや打重ね部のコンクリート品質に悪影響を及ぼすことが懸念される。そこで、遅延剤に加えて増粘剤を添加することで、凝結時間を制御しつつ、ブリーディング量を普通コンクリートと同等程度としたコンクリート(ここでは超遅延コンクリートと称する)に関する検討を行った。

超遅延コンクリートの仕様を表1に示す。打重ね可能な時間の目標値として、JIS A 1147に規定されるブロッカー貫入試験による測定値が0.1N/mm²を超える時間が28時間以上となることとした。ここで、ブロッカー貫入抵抗値は過去の知見²⁾を参考にコールドジョイントが発生しにくいとされている0.1N/mm²以下とした。また、その貫入抵抗値に達するまでの時間は、想定される最大の打重ね時間間隔である24時間に材料や製造の影響による硬化時間のばらつきを考慮して4時間を加え、28時間以上とした。

ブリーディング量は一般的なコンクリートの上限である0.35cm³/cm²以下³⁾となることを目標値とした。スランプや空気量、圧縮強度の目標値は対象とした構造物の設計条件や施工条件から決定した。

超遅延コンクリートの冬期および夏期配合を表2に示す。構造物への適用の際には、市中プラントにてベースコンクリートを製造し、凝結時間のコントロールは、オキシカルボン酸を主成分とする遅延剤を後添加することにより行っている。市中プラントで製造した超遅延コンクリートを



むかい としなり / MUKAI Toshinari
鹿島建設(株)
技術研究所 土木材料グループ
副主任研究員



あしざわ りょういち / ASHIZAWA Ryoichi
同上
上席研究員



わたなべ けんぞう / WATANABE Kenzo
同上
グループ長 博士(工学)



さかきばら けん / SAKAKIBARA Ken
鹿島建設(株) 東京土木支店
工事主任



しおみ ひさゆき / SHIOMI Hisayuki
鹿島建設(株) 東京土木支店
次長



むらた けんじ / MURATA Kenji
東日本高速道路(株) 関東支社
横浜工事事務所 岩瀬笠間工事長



おぜき じゅん / OZEKI Jun
同上
岩瀬笠間工事区 係長

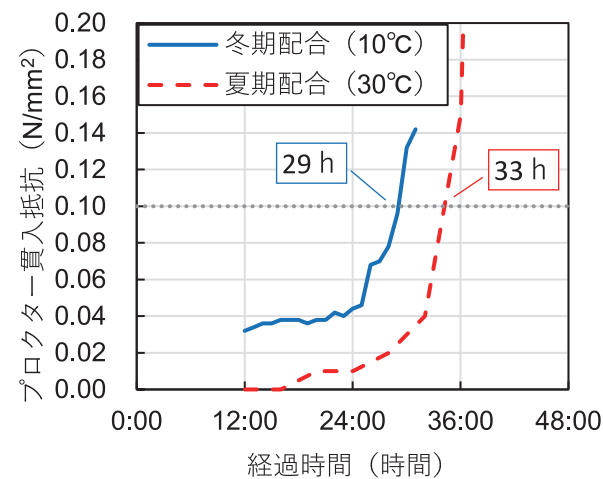


図2 超遅延コンクリートの凝結性状

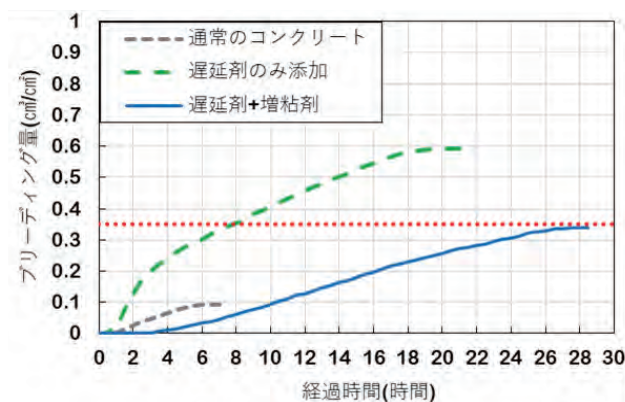


図3 超遅延コンクリートのブリーディング(冬期配合)



写真1 作製した大型試験体

それぞれの季節を模擬した温度(冬期:10℃, 夏期:30℃)条件下で静置し、プロクター貫入抵抗値の測定を行った。結果を図2示す。冬期配合では練混ぜから29時間、夏期配合では33時間にわたって打重ね可能な性状を保持できており、日をまたいだ打重ね工法に必要な凝結性状を確保できていた。なお、遅延剤の添加量は表2に示すように夏期配合が冬期配合に比べ少なくなった。これは夏期配合に用いる遅延形の高性能AE減水剤の遅延成分の影響と考えられる。

ブリーディングはセルロース系の増粘剤を使用することで抑制を図った。冬期配合のブリーディング量を測定した結果を図3に示す。遅延剤のみの添加ではブリーディング量が著しく増加するのに対して、増粘剤の使用によりブリーディング量を半分程度に抑制できることを確認した。この結果より、増粘剤の使用量を0.2kg/m³とする

ことで、ブリーディング量が0.35cm³/cm²以下(普通コンクリートの範囲内)となることが明らかとなった。

4. 大型試験体による検討

本工法の実証として、構造物への適用に先立ち写真1に示すような縦1.8m×横0.9m×高さ1.8mの大型試験体を作製し、工法の成立性と日をまたいだ打重ね部の一体性の確認を行った。試験体は1日目の下層に通常のコンクリートを、上層に超遅延コンクリートを打ち込んだ状態で1晩(18時間)静置し、翌日さらに通常のコンクリートを打ち重ねた。打込み後18時間静置した超遅延コンクリートはパイプレータの挿入が十分可能な程度の状態を保持しており、通常のコンクリートを打ち重ねて、層境をまたいで締め固めることが可能であった。また、超遅



写真2 鉄筋周辺の状況

[ブリーディング水の滞留は見られない]

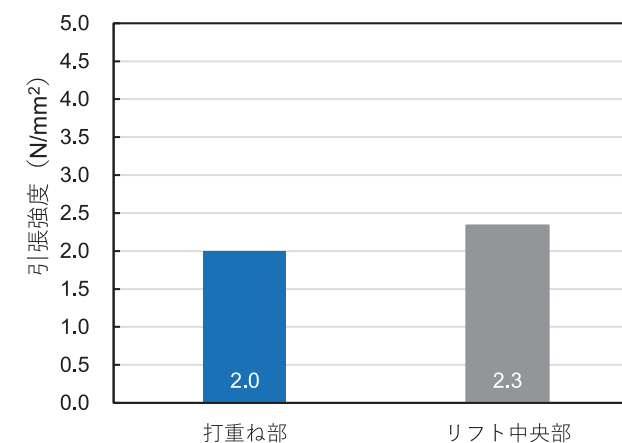


図4 一軸引張試験の結果

延コンクリートは増粘剤を使用しているため、粘性の増大によって、圧送性や充填性が低下することが懸念されたが、大型試験体の打込みを通して、施工の障害としないことを確認した。

コンクリートの硬化後、型枠を取り外して表面の状態を確認したところ、超遅延コンクリートと2日目に打ち込んだ普通コンクリートとの間にコンクリートの色味の差が見られたものの、ひび割れやコールドジョイント等は見られなかった。試験体の切断やコア採取により内部の状態を確認すると、鉄筋の周りは密実に充填されており、懸念されていたブリーディング水の滞留などは発生していなかった(写真2)。また、コア試料の観察では、打重ね部の周辺に層境やひび割れなどは確認されず、超遅延コンクリートと翌日に打ち込んだ通常のコンクリートが十分に一体化されていた(写真3)。

打重ね部を含むように鉛直方向に採取したコア試料を



写真3 打重ね部のコア

[層境は見られない]



超遅延コンクリート

通常のコンクリート

写真4 引張試験の破断面

[左: 超遅延コンクリートを使用した打重ね部, 右: 通常のコンクリートを使用した打重ね部]

用いて一軸引張試験を行った。試験結果を図4に、試験体の破断面を写真4に示す。引張強度は2.0N/mm²であり、一体で施工したコンクリート(2.3N/mm²)と比べて強度は同程度であり、コンクリート同士が一体化しているとみなせる強度⁴⁾を確保できていた。また、破断面には骨材が均等に分布していることから、超遅延コンクリートは打重ねの際に上層の通常のコンクリートと混ざり合ったものと考えられた。以上の結果から、超遅延コンクリートを使用し、所定の打込み・締固めを行うことで、打重ね部のコンクリートは十分に一体化できていると考えられた。

5. 実構造物への適用

5-1. 構造物の条件

本工法を適用した構造物は、立坑内に構築される底

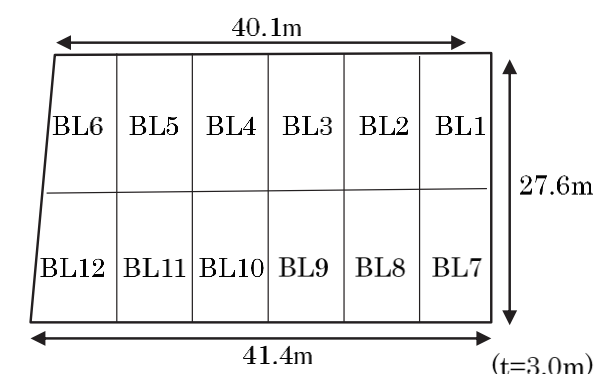


図5 底版のブロック割
[通常の施工ブロック]

版（高さ3.0m、コンクリート数量約3,350m³）および頂版（高さ2.0m、コンクリート数量約1,900m³）であり、縦40.1m×横27.6mのマスキングコンクリートである。この立坑は住宅街に近接しているため、車両が入場可能な時間や1日に入場できる台数に制限があり、打込み作業の可能な時間が短く、1日に供給可能なコンクリート量が最大350m³であった。この条件では、通常は図5に示すように底版を12ブロックに分割して構築することになるが、先述のとおり工程が遅延することや、スラブに多数の鉛直打継目を設けることで、止水性が低下することが懸念された。また、鉄筋が密に配置されており、内部に入って水平打継目の処理を確実に行うことが困難であった。そこで、超遅延コンクリートを使用して、日をまたいで打重ねを行い1ブロックあたりのコンクリート量を大きくすることで、ブロック数を低減して工程の短縮を図った。超遅延コンクリートを使用した場合の底版のブロック割を図6に示す。BL1～4は、2日間にわたってコンクリートを打ち込んで構築した。BL5では、3日間にわたってコンクリートを打ち込んで構築した。同様に頂版についても超遅延コンクリートを使用し、7ブロックから4ブロックにブロック数を低減した。施工時期は底版スラブが冬期、頂版が夏期となったため、冬期配合、夏期配合の両方の超遅延コンクリートを使用した。

5-2. 超遅延コンクリートの製造・打込み

超遅延コンクリートの製造は、遅延剤を除いた材料を近くの市中プラントで練り混ぜてベースコンクリートを

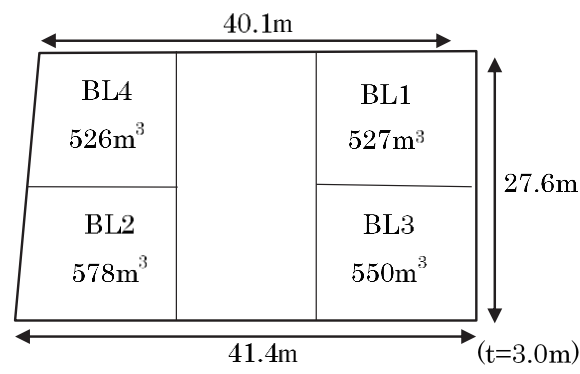


図6 底版のブロック割
[超遅延コンクリートを使用した施工ブロック]

製造し、ベースコンクリートを積載したアジテータ車に規定量の遅延剤を後添加した。遅延剤のみを後添加としたのは、同じプラントで通常のコンクリートも製造・出荷しており、万が一ミキサ内に遅延剤が残留した場合、同日に出荷している通常のコンクリートの硬化に悪影響を及ぼすことを回避するためである。

コンクリートの打込みは、1日目に下層2層分（各層500mm）を通常のコンクリートで打ち込んだのち、3層目（500mm）に超遅延コンクリートを打ち込んだ。3層目の打込み完了後、夜間のコンクリート打込み作業を中断し、翌日から4～6層目を通常のコンクリートにより打ち込んだ（前出：図1）。3層目と4層目の打重ね時間間隔は約18時間であった。

5-3. 硬化状況の測定・管理

試験練り際には硬化状況の評価としてJISに規定されているプロクター貫入試験を用いた。一方でコンクリートからモルタル分をふるい取る必要があるため、現場の管理試験としては手順が煩雑であることと、粗骨材や締固めの影響を測定できない点が課題であった。そこで、型枠内に打ち込んだコンクリートの硬化性状を直接測定する手法として、N式貫入試験による硬化状況の評価および管理を試みた。

N式貫入試験はスランプ試験に使用する突き棒を高さ1mから落下させ、コンクリートへの貫入量を計測するものであり、簡単な器具で試験が可能である。また、型枠内に打ち込んだコンクリートで測定を行うため、骨

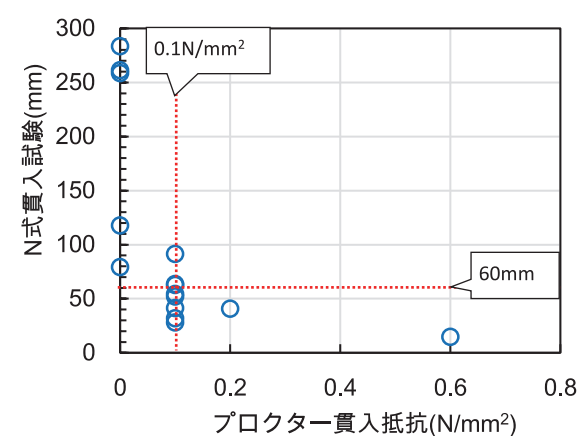


図7 N式貫入試験とプロクター貫入試験の関係

表3 N式貫入試験の結果

貫入量（mm）		ブロック			
		BL1	BL2	BL3	BL4
測定位置	A	130	147	83	143
	B	77	117	80	137
	C	168	97	103	93
	D	126	170	110	120
	E	102	60	80	87
	F	-	173	100	67

材や施工の影響を含めた測定が可能となる。N式貫入試験とプロクター貫入試験の関係を把握するため、事前にN式貫入試験とプロクター貫入抵抗値との関係を整理した。図7に示すように、打重ね可能とされているプロクター貫入抵抗値0.1N/mm²以下を判定・管理するために、N式貫入試験で貫入量60mm以上を確保することとした。実際の施工では、2日目の作業開始の直前に測定を実施した。測定は約30m²に1箇所（各ブロック5～6か所程度）の頻度で実施し、各場所で3回計測を行い、平均値を測定結果とした。

5-4. 超遅延コンクリートの性状

打込みから18時間経過後の超遅延コンクリートの表面の状態を写真5に示す。超遅延コンクリートはまだ硬化に至っておらずフレッシュな状態を保っており、パイプレータの挿入や再振動が可能であった。また、頂版施工（夏



写真5 18時間経過後の超遅延コンクリート
[パイプレータの挿入が可能]



写真6 構築された躯体の側面
[表面は鉛直打継ぎ処理を行っている]

期 全4回)におけるN式貫入試験による測定結果を表3に示す。すべての測定点において貫入量が60mm以上となったことから、超遅延コンクリートが全面において十分に打ち重ねられる状態であったと判断された。

5-5. 打重ね部の一体性の評価

構造物において超遅延コンクリートを使用した打重ね部が十分に一体化できていることを確認するため、コンクリート表面の観察と表面吸水速度試験（SWAT）による表層部のコンクリートの品質評価を行った。コンクリート表面の観察では、事前に製作した大型試験体と同様に、コンクリートの色味の差による色むらが生じているものの、ひび割れやコールドジョイント等はなく、一体化していることを確認した（写真6）。SWATで超遅延

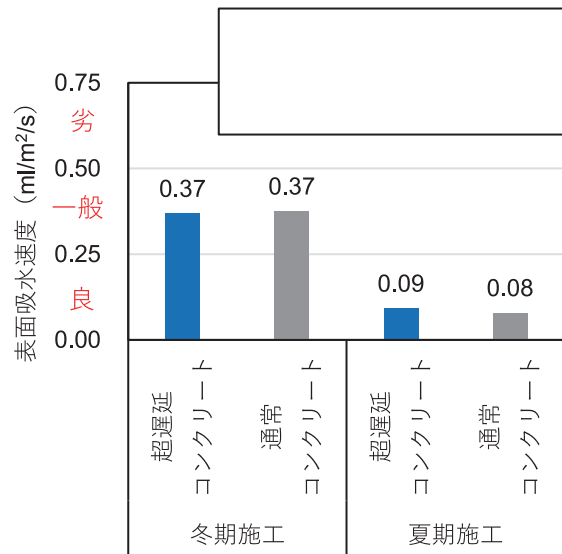


図8 SWAT試験の結果

コンクリートを使用した打重ね部を測定した結果を図8に示す。冬期施工，夏期施工ともに同じ日に打ち込んだ通常のコンクリート同士の打重ね部と同ランクの測定値となり，超遅延コンクリートを使用した打重ね部(日またぎ)は，通常の打重ね部(打重ね時間間隔1.5時間以内)と同程度の品質が得られていることが確認された。

5-6. 工程短縮効果

通常のコンクリートによる打込みを行った場合と，超遅延コンクリートによる打重ねを行い，2日間連続での

コンクリートの打込みを行った場合の工程の比較を行った。その結果，超遅延コンクリートの使用により底版では約1か月，頂版では約10日間の工程短縮を実現できた。工程短縮の要因としては，打込みのブロック数が減少したことにより型枠の数量が減少したこと，および養生の回数が削減されたこと，鉄筋の組み立てを細かく分割して行う必要がなくなり，作業効率の向上が図れたことが挙げられる。

6. まとめ

遅延剤を多量に混和した超遅延コンクリートを使用することで打重ね可能な時間を延長し，夜間の作業中断を行いつつコンクリートを打ち重ねる工法を適用した。これにより，コンクリートの品質を保ちながら，工程を短縮することができた。今後，当工法の展開とさらなる高度化に努めていく所存である。

【参考文献】

- 例えば 竹内徹，長瀧重義／超遅延剤を用いたコンクリートの特性，コンクリート工学，37巻，11号，1999.11
- 土木学会編／コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策，コンクリートライブラリー 103号，2012.7
- 流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会／流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン，2017.3
- 東日本高速道路(株)，中日本高速道路(株)，西日本高速道路(株)／構造物施工管理要領 3章保全編，2015.7

お知らせ

第23回コンクリート構造物の補修，補強，アップグレードシンポジウム

主催：日本材料学会

後援：セメント協会，日本コンクリート工学会，日本建築学会，土木学会 ほか

開催日：2023年10月12日(木)，13日(金)

会場：京都テルサ(京都市南区東九条下殿田町70番地)およびオンライン

定員：250名程度(会場)

参加費：会員(後援団体含む)／一般10,000円(学生4,000円)，非会員／一般14,000円(学生5,000円)

参加申込締切：定員になり次第締切 投稿申込締切：2023年3月13日(月)

お問合せ：(公社)日本材料学会(電話：075-761-5321 e-mail：jimu@office.jsms.jp)

第77回セメント技術大会 一般研究発表の募集のお知らせ

一般社団法人セメント協会

第77回(2023年度)セメント技術大会の一般研究発表を下記要領により募集いたします。本大会がセメント・コンクリート技術に関する活発な討論の場となりますよう，ふるってご応募ください。

名称：第77回セメント技術大会

期日：2023年5月17日(水)，18日(木)，19日(金)の3日間

開催形式：会場とオンライン(ハイブリッド)

会場：赤坂インターシティコンファレンス
(東京都港区赤坂1-8-1 赤坂インターシティ AIR 4F)

オンライン：Cisco Webex

参加費：無料(発表や聴講など，参加費は不要です)

発表形式：活発な討議，タイムスケジュール遵守等のため，原則，会場での発表とします。
(会場にお越しになれない方はオンライン発表も可)

講演申込の受付期間：2023年1月10日(火)～2月27日(月)

※聴講の参加申込みは2023年4月1日(土)より開始予定

講演申込方法：受付期間内に第77回セメント技術大会ホームページ(下記URL)の「一般研究発表の申込」の申込みフォームにご記入の上，講演要旨原稿の提出とあわせてお申込みください。

URL：<https://confit.atlas.jp/jcalab23>

セメント協会ホームページ[<https://www.jcassoc.or.jp>]からもアクセスできます。

※詳細・募集要項は本誌No.911(2023年1月号p.61～64)をご覧ください。

無趣味人の AI 頼み

新藤 竹文

還暦をとうに過ぎたが、根っからの怠け者の上、熱しやすく冷めやすい性格が禍して、未だに、熱中できる趣味が定まらないでいる。先日、世話好きの呼び掛けで、モニター越しではあるが、久しぶりに同期が集まった。放っておくと、すぐに年金と持病の話ばかりになるので、幹事の一声で「休日は何をして過ごしている、今どんな趣味に凝っている?」の近況報告にたっぷり時間を取る事となった。

定番のウォーキングやゴルフに始まり、畑を借りて野菜作りに精を出すコンクリートの教授、中には完全リタイヤして考古学の短期集中講座に通い、本気で遺跡発掘に挑みだした元耐震工学の専門家もいる。いよいよ自分の番が回ってきた。家の中でゴロゴロしているとは言えず、年に数えるほどの「温泉旅行に嵌っている」と口が滑った。「温泉めぐりは優雅な趣味だ」と予想以上に羨ましがられ、気まずい気持ちのまま、お開きとなった。

早く、身の丈に合った趣味を見付けなければと真剣に悩み出した。そんなある日、ボロボロになった濡れ縁台を解体し、新しい物に買い替えようと通販大手のア○○ンを覗いてみた。ピンからキリまで沢山あるが、直ぐ潰れそうな貧弱なものでも結構な値段がした。

「この程度なら、自分でも作れるなあ」

「…?…!」「これだ! DIYこそ、探し求めている趣味に違いない!」

早速、ホームセンターで細長い杉板を買い揃えてから、ア○○ンで目に止まった電動丸ノコを購入した。次の休日、届いた電動丸ノコを使ってみた。危うく電源コードまで刻みかけたものの、切断作業を一気に終えて、次の組立て作業に向けて、電動ドリルを買うことにした。

ア○○ンを見に行くと、「電動丸ノコを購入したあなたへ」とのメッセージとともに、数多くのバッテリー付き丸ノコを薦めてきた。確かに、電源コードを切る心配のないコードレスは欲しい。電動ドリルを買うついでに、コードレスの丸ノコを買い足した。

縁台の組立てを半分ほど終えて、再びア○○ンを覗くと、次のお薦め品に“電動サンダ”が並んでいる。確かに、木のささくれが気になっていたのも、お薦めのコードレス電動サンダを購入した。この辺りから、工具を揃えるのが楽しくなってきた。縁台製作は一向に進まないまま、電動工具だけが増えていった。

ア○○ンでは、ビッグデータに基づいてAIが顧客の購入傾向を分析し、次に欲しがる物を推測していると聞いたことがある。正にア○○ンの思う壺なのだが、私の欲しい物を

次々と言い当てられて、現在のAIは、ここまで進歩したのかと改めて驚かされた。

私にとって、AIと言えば“鉄腕アトム”である。当時はAIなどの言葉はなかったので、電子頭脳と呼んでいた。親切と正義の心を学んだ電子頭脳と10万馬力のパワーを併せ待ち、次々と悪い奴らをなぎ倒すアニメにくぎ付けだった。

当時、一番流行った遊びは、“スーパージェッター”である。未来から来た少年ジェッターが、腕に嵌めた通信装置に向かって「流星号、応答せよ」と呼びかけると、AI搭載のスーパーカーが瞬時に主人のところに駆けつけた。

現在、腕時計型通信機は人気商品である。AI搭載の自動運転車が実用化するのも目前で、アニメの世界が次々と実現している。“人の経験と勘”で勝負してきた施工会社でも、デジタル化施工とAI導入が開発競争の主役となりつつある。

実を言うと、私はAIが苦手である。コンクリートは見ても、触って覚えろとの教えが体に染み付いてしまい、知らない内に答えが出るAIが妙に怖く、なかなか馴染めないでいる。ただ、食わず嫌いだけで、“電子頭脳”への夢や憧れは、昔も今も変わっていない。

吉田徳次郎先生の論された「コンクリートの良し悪しは、コンクリートの知識と正直・親切の差で決まる」を座右の銘としてきた私にとって、いずれ、この正直・親切を学んだAIが開発されて、夢を叶えてくれると信じている。

さて、漸く縁台が完成した。久しぶりにア○○ンを覗くと、“蚊取り線香とブタ型線香立



て”を薦めていた。さすがに、もう薦める物が無くなって、差し障りのない季節物に替えたなと勝った気になった途端、ハッとした。

「まさか! AIが、完成した縁台に座って、蚊を払いながらの夕涼みと読んだのではあるまいか? いやいや考え過ぎだろう。」

「小さな親切、余計なお世話」とぶつぶつ呟きながら、明後日届く“お薦め蚊取線香セット”を待っている。

[しんどう たけふみ／

大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部
 荣誉研究員 博士(工学)]

北海道内最高高さの 超高層RC建物の設計と施工

～さつきた8・1～

Design and construction of the highest reinforced concrete building in Hokkaido

辰濃 達 池田 祥子 野口 裕介 脇田 拓弥 杉山 智昭 渡邊 悟士 島津 幸二 上田 大輔

1. はじめに

さつきた8・1は、札幌駅北口に近接し、札幌駅からは地下通路でも連絡される、地上48階建て、高さ約175m、東北以北では最高の高さとなる超高層住宅を主とした複合施設である。本建物は、超高層建物で低層部の柱が高軸力を負担することから、北海道内で初めて設計基準強度100 N/mm²の超高強度コンクリート(以下、Fc100と称す)を適用した。Fc100の初適用、最先端の構造設計技術である大成式ヒンジリロケーション構法(以下、T-HR構法と称す)、また同構法の特徴を活かした、柱、梁のプレキャスト(以下、PCaと称す)を分割して施工する合理的な構工法技術、さらに本設のRC柱を施工用のマストコラムに兼用



写真1 工事全景

したテコアップ工法を採用して、本建物では施工の超高速化を実現した(写真1)。

本稿では、これらの施工技術の複合により構築された超高層建物の設計・施工について報告する。

表1 建物概要		
建物名称	北8西1地区第一種市街地再開発事業に伴う施設建物	
建築場所	北海道札幌市北区北8条西1丁目	
地区・地域	用途地域:	商業地域
	防火地域:	防火地域
	建蔽率:	80%
	容積率:	700%
主要用途	共同住宅, 事務所, 店舗, 駐車場	
建築主	札幌駅北口8・1地区市街地再開発組合	
設計	大成建設株式会社一級建築士事務所	
監理	株式会社ドーコン	
施工	大成建設・伊藤組土建・スターツCAM 共同企業体	

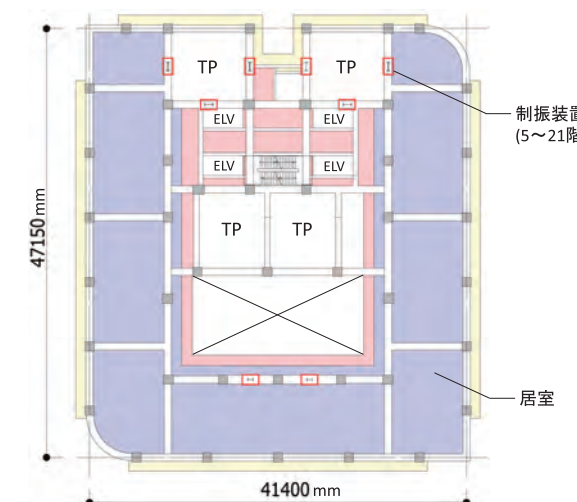


図2 基準階略図

2. 建築計画概要

表1に建物概要、図1に各棟配置図を示す。本建物は、基礎・地下が一体である地上48階のRC造(一部S造)の住宅棟および地上4階のRC+S造のオフィス棟により構成される建築基準法上一棟の建物である。同一敷地内には別棟の立体駐車場があり、また同一区画内には、別敷地として地上14階のホテルが計画されている。住宅棟は4階以上が共同住宅、1~3階は店舗等であり、地下は設備諸室、車路である。多雪地域という立地条件により、札幌駅・地下街からのアクセスおよび各棟間の連続性を考慮した計画であり、積雪時の対策を各所に計画した。2020年7月に着工、竣工は2023年12月の予定である。

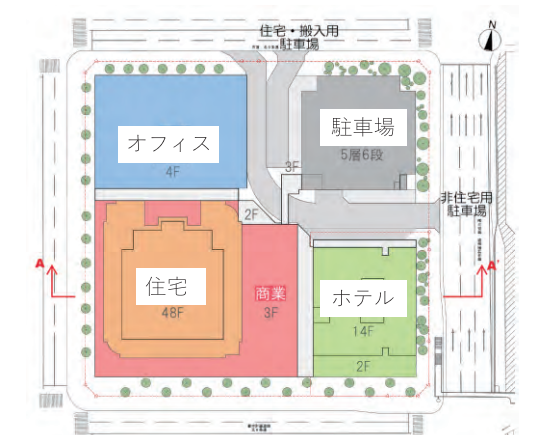


図1 各棟配置図

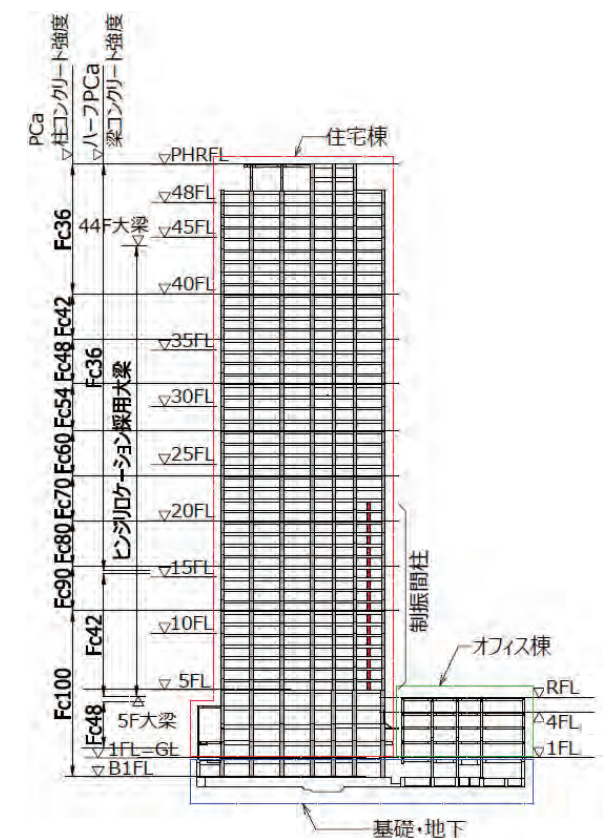


図3 代表略軸組図

3. 構造設計

3-1. 構造計画

図2に基準階略図、図3に代表略軸組図を示す。基礎形式はGL-8.5m以深の頑強な砂礫層に支持させる直接基礎で、高層直下部分はマット基礎、周囲部分は基礎梁形式である。基礎・地下の形状は約64m×95m、住宅棟地上階の基準階は約42m×48mの整形で、塔状比は4.1である。住宅棟の地上階の

たつの さとし / TATSUNO Satoshi
大成建設(株)
設計本部
シニアエンジニア

いけだ さちこ / IKEDA Sachiko
同上
札幌支店 設計部
シニアエンジニア

のぐち ゆうすけ / NOGUCHI Yusuke
同上
設計本部
プロジェクトエンジニア

わきた たくや / WAKITA Takuya
同上
設計本部
エンジニア

すぎやま ともあき / SUGIYAMA Tomoaki
大成建設(株)
技術センター
主席研究員 博士(工学)

わたなべ さとし / WATANABE Satoshi
同上
主任研究員 博士(工学)

しまづ こうじ / SHIMAZU Koji
同上
札幌支店
作業所長

うえだ だいすけ / UEDA Daisuke
同上
東京支店
作業所長

表2 超高強度コンクリートの調合条件(現場打ち)									
W/B	スランプ フロー	空気量	単位量 [kg/m ³]					SP	PP
			B		W	S	G		
			C	AD					
[%]	[cm]	[%]						[B×%]	[kg/m ³]
21	60	2.0	610	152	160	634	868	1.65	1.0

C：普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³）
AD：高強度用混和材（密度 2.64g/cm³）
W：地下水
S：天然砂（表乾密度 2.65g/cm³）
G：安山岩碎石 2005（表乾密度 2.63g/cm³）
SP：高性能 AE 減水剤 ※表中の添加量は目安
PP：ポリプロピレン繊維

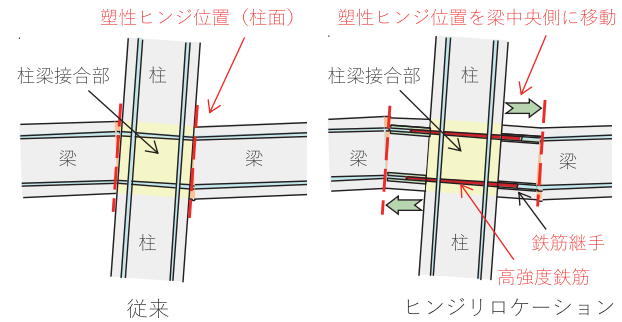


図4 T-HR構法概要

架構はXY両方向ともに、外壁を乾式壁とした純ラーメン構造とし、地震時の安全性の向上を目的として、5～21階には制振間柱を配置した。主体構造は、最高強度Fc100のコンクリート、柱・梁の主筋は高強度鉄筋（SD590，SD490）を用い、柱・梁を靱性に富んだ部材とするため、せん断補強筋として高強度せん断補強筋（SBPD1275/1420，SPR785）を採用した。住宅棟部分の施工方法は、B1階以上の柱は柱梁接合部を含めてフルPCa部材とし、2階以上の大梁、基準階スラブ、バルコニーや廊下等の片持ちスラブはハーフPCa部材を採用した。

1階柱以上の純ラーメン構造範囲は、「鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準・同解説」に準拠し、柱梁接合部の破壊を防止することを目的に、以下の設計クライテリアとした。

- （1）低層部の2～4階は超高層建物の基壇として、剛性、耐力を十分確保すること、また、45階以上は、建物上部の剛性を確保し、応答性状を改善することを目的として、大梁は弾性限耐力以下（大梁端部にヒンジが生じない状態）とする。
- （2）5～44階の大梁は、降伏ヒンジ位置を柱面から



写真2 Fc100の現場打ち

大梁中央方向に600mm移動するT-HR構法を採用した。ヒンジ位置に損傷を限定させ、地震時の柱梁接合部の応力状態を弾性範囲とすることで、柱梁接合部の損傷を防止し、高性能な架構フレームを実現する。

なお、T-HR構法の手法は、後述する当社の実験的な研究に基づき開発を行い、（一財）日本建築総合試験所で建築技術性能証明を取得している。超高層建築物に加え、一般確認建築物にも適用可能である。

3-2. 寒冷地での超高強度コンクリートの適用

表2に、本工事で適用したFc100の調合条件を示す。Fc100の製造には、シリカフュームを含む特殊な結合材が必要になる。通常は、普通ポルトランドセメント、スラグせつこう系混和材およびシリカフュームをブレミックスした高強度用セメント、またはスラグせつこう系混和材とシリカフュームをブレミックスした高強度用混和材のいずれかで対応しているが、いずれも関東からの供給となるため、本工事では輸送費の面から高強度用混和材を採用した。

写真2に、Fc100の現場打ちの状況を示す。本工事におけるFc100の適用数量は、PCa化部分約2,150m³、一部の現場打ち部分約20m³であった。

3-3. T-HR構法の開発

一般的なRC造建築物では大地震時に梁の端部で塑性ヒンジを形成し、耐震性を確保している。一方、梁端部の塑性化は柱梁接合部の曲げ破壊を誘発し、建物の耐震性に影響を及ぼすことが近年顕在化して

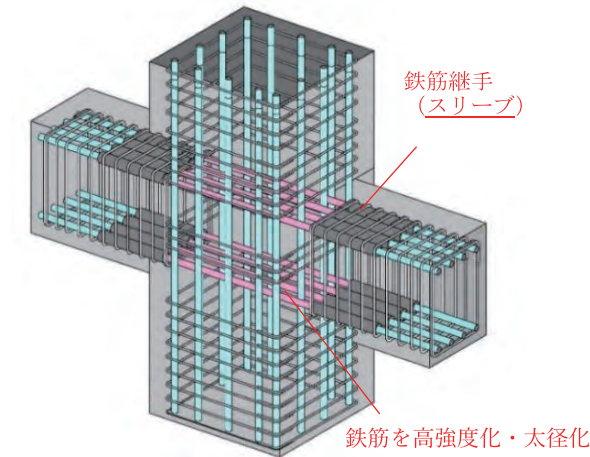


図5 T-HR構法の方法((A)スリーブタイプ)

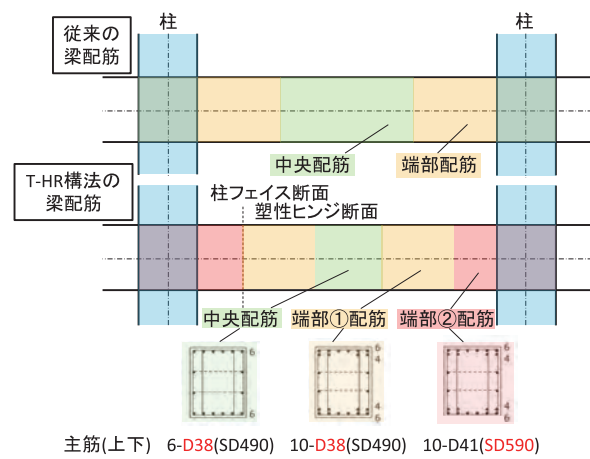


図6 T-HR構法を採用した梁の配筋概要

いる。本建物は接合部の損傷の抑制を目的とし、塑性ヒンジの発生位置を柱面から梁中央側に移動させ、損傷の位置を制限するT-HR構法（図4）を超高層集合住宅に国内で初適用した。損傷位置を大梁のスパン内部とすることで補修を容易にし、BCPにも貢献する。T-HR構法は、塑性ヒンジ位置の移動方法として、（A）柱梁接合部および梁端区間の梁主筋を梁中央区間よりも太径や高強度とする「スリーブタイプ」、（B）柱梁接合部および梁端区間の梁主筋本数を梁中央区間より多くする「カットオフタイプ」の2種類の構法を開発しており、多様な施工方法に対応可能である。

本建物では、寒冷地における柱の超高強度コンクリートの品質の確保を優先し、柱と梁を別のPCa部材として施工する構工法を選択したことから、（A）のスリーブタイプを適用した（図5）。

本構法の設計手法は、梁部材・柱梁部分架構の

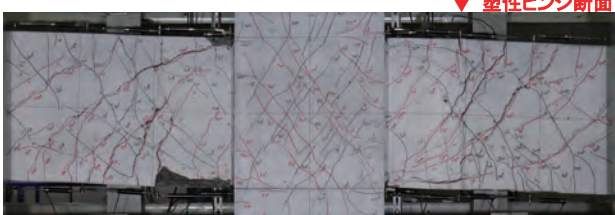
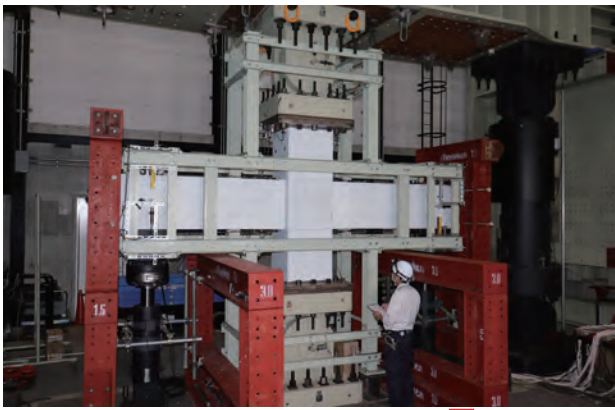


写真3 性能検証実験の状況

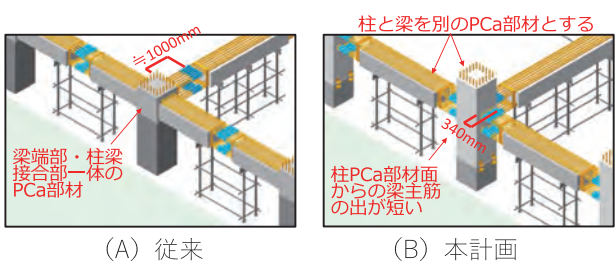


図7 PCa部材の計画の比較

実験等による性能検証により確立している（写真3）。

3-4. T-HR構法の設計適用

従来の大梁配筋は端部・中央の断面で配筋を替えて構成するが、T-HR構法を用いた大梁では柱フェイス位置より梁内側にヒンジ位置を移動させ、その位置で配筋を切り替えることから、大梁の端部配筋が2種類となり、端部②・端部①・中央の断面となる。図6に従来およびT-HR構法の梁配筋概要を示す。同図の端部②と①で主筋の径や強度を変化させることで、端部②断面の曲げ耐力が、柱フェイス位置において生じる曲げモーメントを一定の余裕度を上回るように設計し、設定した塑性ヒンジ断面に確実にヒンジが生じるよう保証している。図7に、従来とT-HR構法のPCa部材の計画の比較を示す。

従来構法では、柱梁接合部と大梁端部を一体とし



写真4 PCa柱部材の貯蔵状況



写真6 冬季の施工状況

て製作したPCa部材を梁中央で接続するか、梁端部で梁主筋を接続する。この場合は、主筋の接続部を柱フェイスから大梁せい以上離す必要があり、PCa柱面からの大梁主筋の突出長さが1000mm以上と長く、PCa部材の運搬上に支障が生じる。本建物では、スリーブタイプのT-HR構法の採用により、柱と梁のPCa部材を分けて製作し、柱部材は柱梁接合部と一体のPCa部材とした。また、柱フェイス近傍に梁主筋継手を計画できるため、柱PCaからの大梁主筋の突出長さは、従来より大幅に短い340mmとした。これは、運搬時、製造時、施工時に大きなメリットとなる(写真4)。

北海道ではFc100の超高強度コンクリートが初適用であり、またFc100の柱梁接合部と大梁端部を一体として製作するPCa部材の実績がなかったことから、特に柱部材の品質の確保、施工方法の両面でスリーブタイプのT-HR構法の適用が最適かつ必須であった。

4. 施工状況

4-1. 寒冷地における超高層RC建物の施工

本建物は、寒冷地での諸条件を考慮し、柱、梁を別々



写真5 PCa柱、梁の設置状況

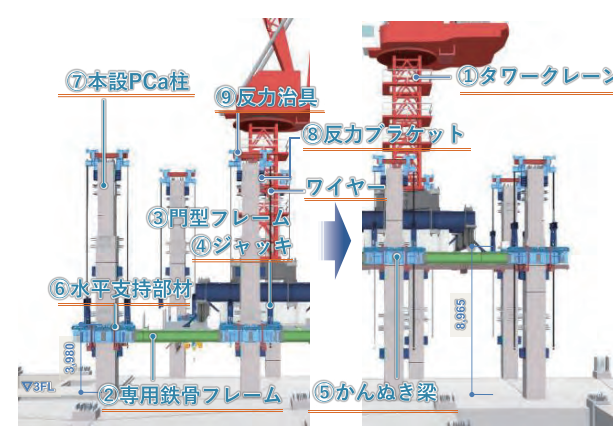


のPCa部材として、施工を進めた。写真5にPCa柱、梁の設置状況を示す。また、写真6に、冬季の最上部の積雪の状況を示す。寒冷地においては、冬季は躯体工事が難しく、施工工程に及ぼす影響は極めて大きい。

4-2. タワークレーン一体型クライミングシステム「テコアップシステム」の適用

本建物の施工には新たに開発した、従来のタワークレーンクライミング工法とは全く異なる新工法『テコアップシステム』を採用した。本システムが有する特色を大別すると以下の4点に纏められる。

- (1) 本設のRC柱を施工用のマストコラムとして兼用する。
- (2) 1フロアごとに約1時間程度でクライミングが可能であり、施工工程への影響が少ない。
- (3) 専用に設けた鉄骨フレーム上でタワークレーン設置場所を自由に選定できるため、効率の良い揚重計画が立案可能である。
- (4) 施工用の開口をふさぐ等の後施工の工事が不要であるため、工程短縮を図ることができる。



(左：クライミング前 右：クライミング後)

図8 システムの全体構成

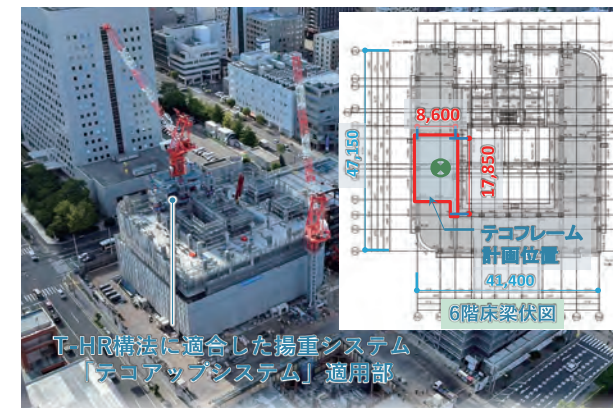


図9 実施適用状況

図8にシステム全体の構成を示す。①タワークレーン載せる②専用鉄骨フレームを⑨反力治具から吊り下げたワイヤーにより支持させる構造となっており、反力治具は着脱可能な⑧反力ブラケットを介して⑦本設PCa柱と一体化した。その他の揚重機構構築や、地震時等の安全性確保のために残りの③～⑥の部材を計画した。

写真7は、本設の梁主筋と本システムの取り付け部である。T-HR構法の採用により梁主筋の突出長さを最大で340mmとしたことで、本システムのフレームを柱に沿って隙間なく計画することが可能となり、実施適用に繋げることができた。

図9に本建物での適用状況を示す。タワークレーンのうち1台について、本設の柱のうち合計6本を利用して本システムを適用した。これにより施工計画最も合理的な箇所にタワークレーンを設置することが可能となったため、従来と比べてクレーンの揚重能力を約半減することに成功した。

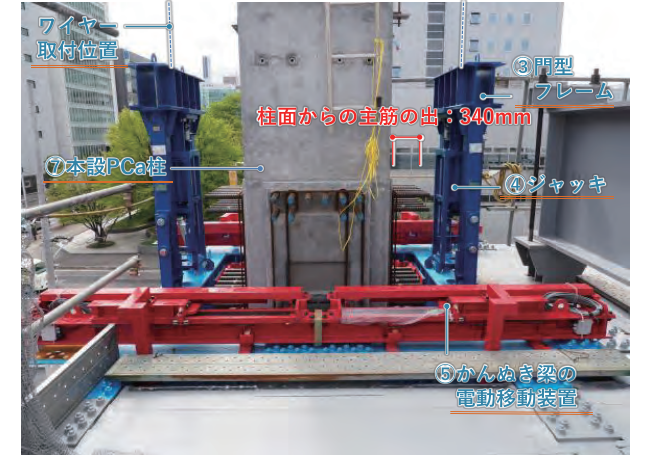


写真7 梁主筋とフレームとの関係



図10 全平面を鉄骨フレームで覆った例

図10は、今後の展開として示したすべての平面を鉄骨フレームで覆った場合のテコアップシステムの適用例である。本システムで専用に設ける鉄骨フレームは、本来全平面に拡張することが可能である。これにより「夏季の猛暑や冬季の積雪、極寒(写真6)等、従来の過酷な労務状況の改善」や「安定した施工空間が必要となる施工用機械の活躍の場を拡張できる」等の新たな価値を創造することが可能である。

5. おわりに

北海道で超高強度コンクリートFc100を初適用し、様々な構造設計技術、構工法技術、施工技術を採用して、各技術によるシナジー効果で、高性能、高品質な超高層建物を短工期で実現できた。今回の工事でも得られた様々な知見を基に、諸技術のさらなる進化を図り、今後へ展開していく予定である。

日本建築学会・鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針の改定概要

Summary of Revision Guidelines on Design and Construction Practice for Control of Shrinkage Induced Cracking in Reinforced Concrete Buildings by AIJ

丸山 一平 寺本 篤史 大野 拓也 都築 正則 井上 和政 野口 貴文

1. はじめに

ポルトランドセメントを基材とするコンクリートの硬化プロセスは、カルシウムを基盤とした低密度水和物を生成することが必須の条件となる。特に、珪酸カルシウム水和物(C-S-H)は、CaOの平面構造を基礎にSiO₂の二量体が上下面に取り付くことによる層状珪酸塩を構築し、特に低密度の水和物を生成する。各CaOとSiO₂でできた層は、マイナスの電荷を持つので、層と層の間にCa²⁺イオンが入ることで全体の電荷バランスを保つが、このCa²⁺イオンは容易に水和することから、ポルトランドセメントと水の反応ではきれいな層状にはならず、歪んだ構造を持ち、さらに低密度な構造体を形成する¹⁾。すなわち水和反応には多くの水が必要となる。この特徴は、強度を達成することに大きく貢献する一方で、水和に伴う自己乾燥、あるいは、外部環境に曝露したときの乾燥によってコンクリートが収縮する要

因になる。すなわち、コンクリートが乾燥下で収縮するのは、強度が得やすい材料としての宿命である。

この乾燥による収縮は、鉄筋コンクリート造建築物に用いる場合には古くから問題となっていた。元来、鉄筋コンクリート構造物の構造設計では、コンクリートのひび割れを考慮して鉄筋を用い、コンクリートの引張応力負担は期待していない。そのため、構造設計の立場から見た場合には、コンクリートの乾燥収縮ひび割れはそれほど大きな問題にはならない。しかしながら、ひび割れによって美観を損なうことや、台風時の漏水、ひび割れを通じた鉄筋腐食、といったことは古くから経済的観点から大きな問題とされてきた²⁾。近年では、大きな乾燥収縮を生ずるコンクリートの場合には、過大なたわみが生じてしまったり³⁾、あるいは構造物の剛性が著しく低下する可能性などが指摘されており⁴⁾、収縮ひび割れの制御だけでなく、そのもととなるコンクリートの収縮制御自体が構造上も重要となる可能性も指摘されている⁵⁾。

表1 鉄筋コンクリート構造物に求める性能、評価項目および許容値と設計値の関係⁹⁾

性能	評価項目	性能評価指標	許容値 (代替指標)	設計値 (代替指標)
構造安全性	鉄筋降伏抵抗性	構造体コンクリートの鉄筋の引張応力 (ひび割れ幅)	降伏点以下	(0.3mm以下)
日常安全性	剥落抵抗性	構造体コンクリートの収縮ひずみ (使用するコンクリートの乾燥収縮率)		(800×10 ⁻⁶ 以下)
使用性	たわみ増大抵抗性			(800×10 ⁻⁶ 以下)
	漏水抵抗性	構造体コンクリートのひび割れ幅 ひび割れ発生確率	ひび割れ幅 0.15mm以下	ひび割れ幅 0.1mm以下 ひび割れ発生確率5%以下
耐久性	鉄筋腐食抵抗性	構造体コンクリートのひび割れ幅	屋外 0.3mm以下 屋内 0.5mm以下	屋外 0.2mm以下 屋内 0.3mm以下

日本建築学会では、1978年に「鉄筋コンクリート造のひび割れ対策(設計・施工)指針案・同解説」を刊行後、材料劣化に起因するひび割れは、2004年、2016年に刊行された「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針(案)・同解説^{6,7)}」に対策の内容を引き継ぎ、収縮ひび割れについては、2006年に「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説²⁾」(以下、収縮ひび割れ制御指針と略)を刊行した。その後、膨張材および収縮低減剤の進化に応じて、2017年のJIS A 6202(コンクリート用膨張材)の改正や2020年のJIS A 6211(コンクリート用収縮低減剤)の制定の動向を反映して、2017年に日本建築学会から「膨張材・収縮低減剤を使用するコンクリートの調査設計・製造・施工指針(案)・同解説⁸⁾」(以下、膨張材・収縮低減剤指針と略)が刊行し、最新の研究成果・技術動向を反映してきた。これと同じくして2015年より収縮ひび割れ制御指針の改定に取り組み、2023年1月に発刊に至った⁹⁾。今回の改定は以下のような特徴を有する。

- ・壁部材に対する考え方を拡張するとともに、床部材に対する考え方を示した。
- ・設計において収縮ひび割れ幅および収縮ひび割れ本数を考慮する流れを示した。
- ・目地を明示的に考慮し、目地以外の部分に収縮ひび割れが入らないことを設計目標とするルートを設けた。

- ・収縮ひずみの予測式は、生コン工場において乾燥収縮率に関するデータが存在することを前提とする形に変更した。最終の乾燥収縮ひずみ(以下、収縮ひずみと称する)は、対象部材の体積／表面積比に応じた形となるよう実験データを基に変更した。
- ・仕様設計の適用対象となるコンクリートの設計基準強度の上限を36N/mm²から48N/mm²に引き上げた。
- ・膨張材・収縮低減剤指針の内容を反映し、低収縮等級のコンクリートに対応する使用材料組合せの例を示した。

2. 1章・2章

本指針の1章では鉄筋コンクリート構造物の設計の適用範囲、適用上の注意を記載し、2章では、設計の基本方針、収縮ひび割れ制御のための許容値・設計値、性能設計の方針、仕様設計の方針について示している。**表1**は、鉄筋コンクリート構造物において「収縮ひずみおよび収縮ひび割れ」の制御の観点から求める構造物への性能とその評価項目、それらに対応した指標、許容値、設計値を取りまとめたものであり、設計者は建築物に要求される性能から、構造部材に求める性能を抽出し、「収縮ひずみおよび収縮ひび割れ」の制御の観点から必要となる設計値を定めて、それを実現する仕様を決定することとなる。



まるやま いっぺい / MARUYAMA Ippei
東京大学大学院
建築学専攻
教授 博士(工学)



てらもと あつし / TERAMOTO Atsushi
広島大学先進理工系科学研究科
准教授 博士(工学)



おおの たくや / OHNO Takuya
太平洋シンガポール



つづき まさのり / TSUZUKI Masanori
(株)大林組
技術研究所 生産技術研究部
主任研究員 修士(工学)



いのうえ かずまさ / INOUE Kazumasa
(株)竹中工務店
技術研究所 建設基盤技術研究部
主席研究員 博士(工学)



のぐち たかふみ / NOGUCHI Takafumi
東京大学大学院
建築学専攻
教授 博士(工学)

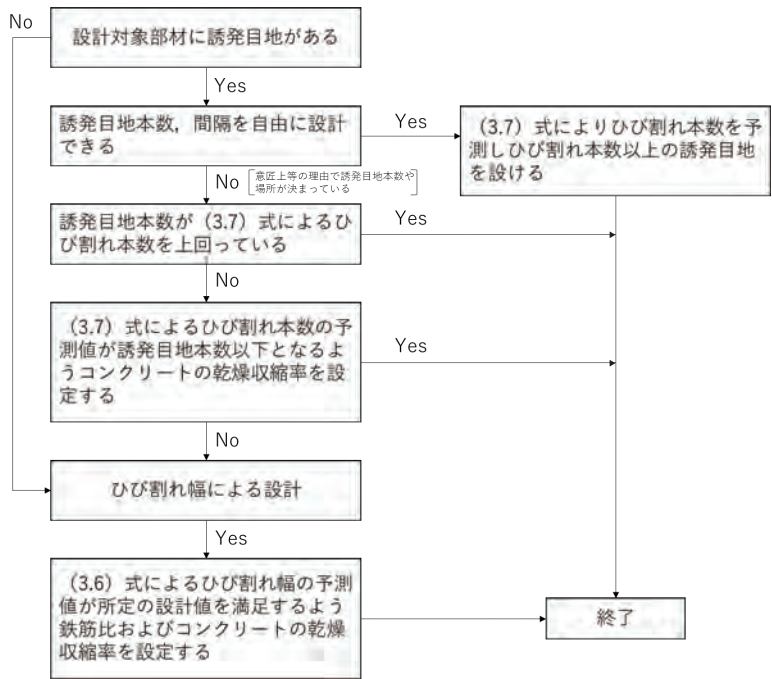


図1 誘発目地によるひび割れ制御を優先したフローチャート⁹⁾

3. 3章「性能設計」

3章では、個々に異なる建築物の環境条件や要求性能に即して、有害な収縮ひび割れを制御するいわゆる「性能設計」の方法を記載している。一般的に鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ対策には、①意匠・構造設計による対策、②材料・調合による対策、③施工上の対策が挙げられ、3章ではこれらを組み合わせた収縮ひび割れ制御手法の具体的な方法が示されている。3章の主な改定のポイントを以下に示す。

(1) ひび割れ誘発目地：ひび割れ誘発目地による設計を明示的に考慮し、目地以外の部分に収縮ひび割れが入らないことを設計目標とするルートを設定した。

(2) 収縮ひずみ予測式：生コン工場において乾燥収縮率に関するデータが存在することを前提に、JIS A 1129により求めた乾燥収縮率のデータを使用した収縮ひずみの予測式を新たに提案した。併せて提案式における最終の収縮ひずみは、実験データを基に、対象部材の(体積／表面積比)に応じた形となるよう変更した。

(3) 修正ベース・マレー式：収縮ひび割れ幅およびひび割れ本数の予測式として、修正ベース・マレー

式を本文に掲載し、壁部材、床部材への適用の考え方を整理した。加えて、修正ベース・マレー式に使用する拘束度 λ の考え方を解説に詳述した。

以下に各改定点について簡単に解説する。

3-1. ひび割れ誘発目地

ひび割れ誘発目地は、有害な収縮ひび割れの発生を防止するための設計上の対策として一般的に用いられているが、本指針の2006年版では目地の性能設計方法が明示されていなかった。改定版では設計対象部材に目地を自由に設けることができる場合に、発生が予測されるひび割れ本数を上回る有効なひび割れ誘発目地を設けることで有害なひび割れの発生を防止する設計が可能なルートを設定した。意匠上、構造上の観点から目地の設計が難しい場合には、従来通り、収縮ひび割れ幅やひび割れ発生確率での設計を行う。誘発目地による収縮ひび割れ制御を優先したフローチャートを図1に示す。

3-2. 収縮ひずみ予測式

国内外の指針等に採用されているコンクリート部材の収縮ひずみの予測式は、多くの実験データをもとにコン

表2 改定前後の収縮ひずみの予測式の比較⁹⁾

予測式中の係数	改定版	旧版(2006年版)
$\varepsilon_{sh}(t, t_0)$	$\varepsilon_{sh\infty} \cdot \left(\frac{t - t_0}{\alpha + (t - t_0)} \right)^\beta$	… (1)
$\varepsilon_{sh\infty}$	$K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$	$K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$
K_1	$1.16 \cdot \varepsilon_{sh26w}$ 使用するコンクリートの乾燥収縮率を用いて算定	$(7.4 \cdot W - 0.7 \cdot C - 0.55 \cdot G + 270) \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3$ コンクリートの調合および使用材料に関する修正係数から算定
K_2	$1.17 \cdot t_0^{-0.08}$	
K_3	$1.28 \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{h}{100} \right)^3 \right\}$ ($40\% \leq h < 100\%$)	
K_4	$\cdot 2.1 \cdot (V/S)^{-0.19}$ ($V/S > 50mm$) $\cdot 1.0$ ($V/S \leq 50mm$)	無し (=1.0)
α	$1.7 \cdot (V/S)$	$0.16 \cdot (V/S)^{1.8}$
β	0.8	$1.4 \cdot (V/S)^{-0.18}$

ここに、
 $\varepsilon_{sh}(t, t_0)$: 乾燥開始材齢 t_0 日における材齢 t 日の収縮ひずみ (×10⁻⁶)
 $\varepsilon_{sh\infty}$: 最終収縮ひずみ (×10⁻⁶)
 K_1 : 使用するコンクリートの最終収縮ひずみ (×10⁻⁶)
 K_2 : 乾燥開始材齢の影響に関する係数
 K_3 : 相対湿度の影響に関する係数
 K_4 : 体積表面積比の影響に関する係数
 α, β : 乾燥の進行度を表す係数

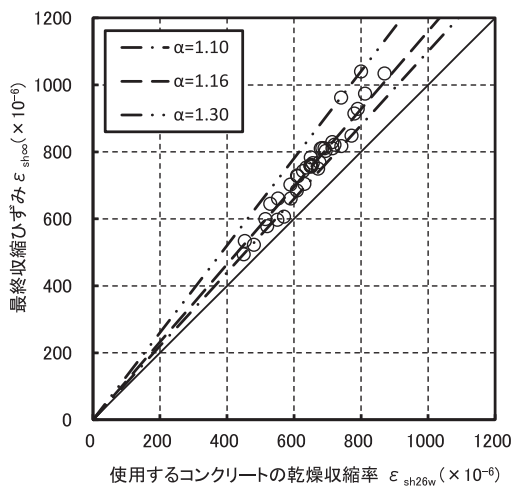


図2 使用するコンクリートの乾燥収縮率と最終収縮ひずみの関係⁹⁾

クリートの調合や強度、構造物が置かれている環境条件などに関する複数の要因に基づいて最終収縮ひずみを算出し、それに時間関数を乗じる形となっている。本指針の2006年版では、本会学術講演梗概集から収集した膨大な調合データに基づいて、コンクリート部材における収縮ひずみの大きさおよび進行度を求める予測式を構築しており、汎用性が非常に高い式である一方で予測精度には限界があった。他方最近では建築工事標準仕様書・同解説¹⁰⁾(JASS 5)における乾燥収縮率の規定や土木学会コンクリート標準示方書¹¹⁾でのコンクリートの収縮の特性値の記載に伴い、コンクリートの乾燥収縮率の実測値を保有する生コン工場が増えている。そこで改定版では予測精度の向上を図る

ため、コンクリートの乾燥収縮率の実測値を用いることができる新たな予測式を提案した。さらに2006年版の予測式では体積表面積比の影響について、限られたデータでの検討になっていたことから、異なる部材寸法、材料、調合における新たなデータを追加して検証し¹²⁾、最終収縮ひずみは体積表面積比(V/S)が50mmより大きい場合、部材寸法の影響を受ける新たな予測式を提案した。

表2に改定版と2006年版の収縮ひずみの予測式の比較を示す。主な改定のポイントは最終収縮ひずみ($\varepsilon_{sh\infty}$)の予測であり、 K_1 をJIS A 1129により得られたコンクリートの乾燥収縮率の結果を用いて算定する点、新たに K_4 (体積表面積比の影響に関する係数)が加わった点の2つである。 K_1 は、図2に示す最終収縮ひずみと乾燥収縮率の関係より、コンクリートの乾燥収縮率に1.16を乗じることで、最終収縮ひずみを求める。なお、図2の最終収縮ひずみは、JIS A 1129により求めた乾燥期間26週までの実験データを表2中の式(1)にて回帰(外挿)して求めたものである。また改定版では、コンクリートの乾燥収縮率を半年以上の時間をかけて得ることが難しい状況も考慮し、乾燥期間が短い試験結果から乾燥期間26週の乾燥収縮試験結果を推測する方法も参考として併記している。

K_4 は、乾燥開始材齢7日、20℃・相対湿度60±5%の環境下で、矩形部材の寸法や封緘面を変え、 V/S

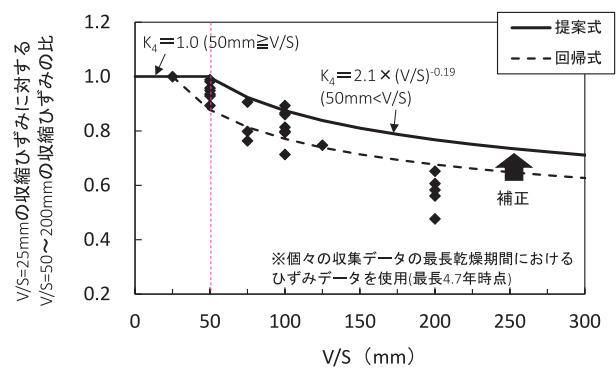


図3 V/S=25mmの収縮ひずみに対する
V/S=50～200mmの収縮ひずみの比⁹⁾

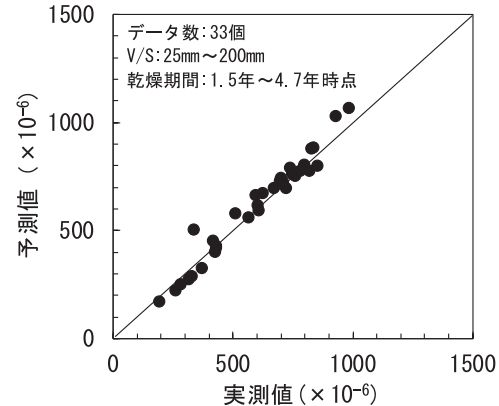


図4 収縮ひずみの予測値と実測値の比較⁹⁾

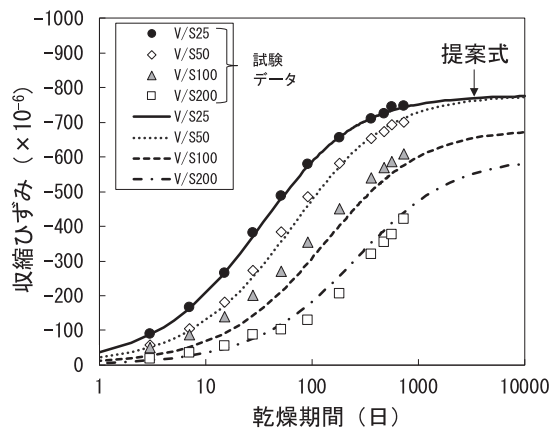


図5 試験データとの比較⁹⁾

を25～200mmの範囲に変化させた既往の収縮ひずみのデータを収集して検討した。図3は同一材料、同一調合間におけるV/S=25mmの収縮ひずみに対するV/S=50～200mmの収縮ひずみの比を示したものである。図中の破線の回帰式は、収集データに対する適合性および簡便性を考慮して累乗関数で表したが、V/S=50mm以上の個々の収縮ひずみデータを考察すると、乾燥収縮の進行が継続している傾向が認められたことから、同回帰式を K_d として適用せず、図3の実線に示すように回帰式を上方に水平移動させて補正して K_d を決定し、V/Sが50mm未満の場合、収縮ひずみの比は0.9～1.0と長期的にV/S=25mmの収縮ひずみと同程度になる可能性が高いことから $K_d=1.0$ と定めた。表2式(1)の中で、乾燥の進行度を表す係数 a 、 β は K_d の算定に用いた既往の収縮ひずみのデータを式(1)で回帰して算出した。その結果、係数 a は直線式で表すこととし、係数 β はV/Sとの明確な相関が

認められなかったことから、簡便性のため $\beta=0.8$ とした。改定版の収縮ひずみの予測結果を図4に示す。予測値は、V/Sが25mm～200mmにおける乾燥期間1.5～4.7年の比較的長期の時点における収縮ひずみであるが、実測値とよく対応していることが分かる。また収縮ひずみの経時変化についても、図5に示すように本指針の提案式はいずれのV/Sの異なる試験データとも乾燥開始初期から良い精度で表現できていることが確認された。

3-3. 修正ベース・マレー式

現段階で、収縮ひび割れの幅、本数を厳密に予測できる方法はなく、予測に際しては安全側を見据えた工学的な判断が求められる。ここでは、実構造物での検証実績が多く、手計算が可能な方法として、鉄筋とコンクリートの付着の取扱いを比較的単純化した収縮ひび割れ幅の簡易予測法の修正ベース・マレー式

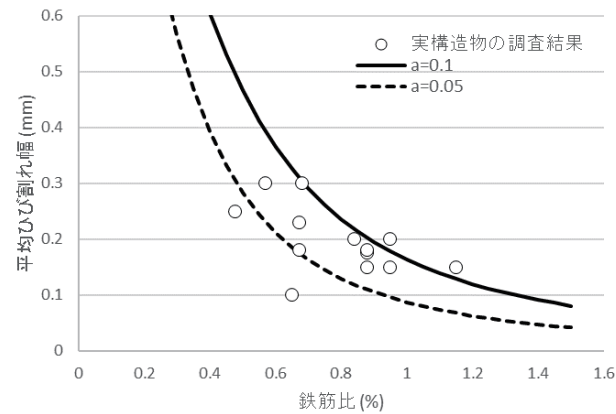


図6 修正ベース・マレー式の係数aの影響⁹⁾

(2)～(5)¹³⁾を採用した。

$$w = 2l \left(\frac{\sigma_s}{E_s} + \frac{\lambda \varepsilon_{sh}(t, t_0)}{b} \right) \dots \dots \dots (2)$$

$$m = 1 + \frac{Lnp}{2l} \left(\frac{\lambda \varepsilon_{sh}(t, t_0) - \varepsilon_t}{b \varepsilon_t} \right) \dots \dots \dots (3)$$

$$l = a \frac{d_b}{\rho} \dots \dots \dots (4)$$

$$\sigma_s = E_s \left(\frac{\lambda \varepsilon_{sh}(t, t_0) - \varepsilon_t}{b} + \varepsilon_t \right) \left(\frac{L - 2ml}{Lnp + 2ml} \right) \dots \dots \dots (5)$$

ここで、

w : 収縮ひび割れ幅(mm)

l : ひび割れ近傍の付着損失長さ(mm)

a : 材料定数(壁部材の場合a=0.05)

d_b : 鉄筋径(mm)

ρ : 鉄筋比($\rho=As/Ac$)

As : 鉄筋の総断面積(mm²)

Ac : コンクリートの断面積(mm²)

σ_s : 鉄筋応力(N/mm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数(N/mm²)

λ : 拘束度

m : 収縮ひび割れ本数(本)

L : 部材長さ(mm)

n : ヤング係数比($n = (1 + \phi(t, t')) \cdot E_s / E_c(t)$)

$\phi(t, t')$: 材齢t日に載荷された材齢t'日におけるクリープ係数

$E_c(t)$: 材齢t日におけるコンクリートのヤング係数(N/mm²)

ε_t : コンクリートの引張限界ひずみ($\varepsilon_t = 1 \times 10^{-4}$)

b : クリープを考慮した低減係数($b=2$)

修正ベース・マレー式は、一般的な外壁を対象とした調査結果から諸係数を決定している。本改訂では、修正ベース・マレー式の床スラブに対する適用性を確認した。式(2)中の係数 a はコンクリートの引張破断強度と付着強度の比に依存するが、コンクリートのブリーディングには方向性があるため、外壁と他の部材の付着強度が同等とは限らない。

図6は、実構造物の床スラブに生じたひび割れ幅の平均値と鉄筋比の関係の調査結果と修正ベース・マレー式による予測値を比較したものである。図のように、係数 $a = 0.05$ と $a = 0.1$ とした場合の修正ベース・マレー式で算定した鉄筋比とひび割れ幅の関係をみると、外壁と同様の係数 $a = 0.05$ を用いた場合、床スラブのひび割れ幅の調査結果は予測値を上回る場合がみられる。しかし係数 $a = 0.1$ にすることで、算定ひび割れ幅は約1.5倍となり、床スラブのひび割れ幅の調査結果のほぼ上限を示す結果となった。このことから床スラブに対しては、平均ひび割れ幅を過小評価しないよう係数 a を慎重に決定する必要があることが確認された。

また、式(2)～(5)によりひび割れ幅、ひび割れ本数を算定する場合、対象部材の拘束度 λ が必要になる。実際の部材では、拘束度 λ は空間分布を有し、時間的にも変化していることが分かっているが、改定版では簡易的な推定方法として寺西らの手法¹⁴⁾を解説している。

4. 4章「仕様設計」

4章では、具体的な収縮ひび割れ対策として、意匠・構造設計によるもの、コンクリートの調合設計によるものが記されている。意匠・構造設計による対策では、各部材の鉄筋比、誘発目地やエキスパンジョイントの配置方法などが記されている。また調合設計による対策では、使用材料の選定、調合の設定、試し練りによる乾燥収縮率の確認などが記されている。

今回の改定ポイントとしては、主に調合設計のコンクリートの調合や使用材料の部分である。

単位水量は「180kg/m³以下」に対し、ただし書きが

表3 乾燥収縮率を低減する目的で使用する材料の乾燥収縮低減効果例⁹⁾

対策No.	使用する材料	対策の具体的内容	期待される効果
①	石灰石骨材	石灰石骨材への骨材置換	600～700×10 ⁻⁶ の実現
②	膨張材	膨張材を標準量使用	膨張材を使用しない場合より150×10 ⁻⁶ 以上の低減
③	収縮低減剤	収縮低減剤を標準量使用	収縮低減剤を使用しない場合より15～30％の低減率
④	高性能AE減水剤 (収縮低減タイプ)	同剤を標準量使用	同剤を使用しない場合より5～20％の低減率

表4 目標とする乾燥収縮率を満足するための使用材料の組み合わせの例(普通セメントを用いる場合)⁹⁾

収縮低減の対象となる コンクリートの 乾燥収縮率(×10 ⁻⁶)	目標とするコンクリートの乾燥収縮率(×10 ⁻⁶)			
	650を越え800以下 (一般)	500を超え650以下 (低収縮等級1)	400を超え500以下 (低収縮等級2)	400以下 (低収縮等級3)
800～1000	低減率0～20％	低減率20～35％	低減率40～50％	低減率50％以上
	①または②または③ または④	①＋②または①＋③ または②＋③または ②＋④	①＋②＋③	困難
650～800	低減率0％	低減率0～20％	低減率25～40％	低減率40％以上
	—	①または②または③ または④	①＋②または①＋③ または②＋③または ②＋④	①＋②＋③
500～650	—	低減率0％	低減率0～25％	低減率25％以上
	—	—	②または③または④	②＋③または②＋④
400～500	—	—	低減率0％	低減率0～20％
	—	—	—	②または③または④

[注]表中の上段は目標の乾燥収縮率とするために必要な乾燥収縮率の低減率を表し、下段はその際の対策を解説表4.5(表3)の「対策No①～④」で表している。また、③＋④(収縮低減剤と高性能 AE 減水剤(収縮低減タイプ)の併用)の対策は通常行わない。①の対策は、収縮低減の対象となるコンクリートに石灰石骨材を使用していない場合となる。なお対策や低減率については絶対ではないため、試験もしくは資料等により確認する。

本文に追加され、ブリーディング量0.3cm³/cm²以下になることを確認した場合は、単位水量185kg/m³以下までとしてよいこととした。これは近年の骨材事情を鑑み、所要のワーカビリティーを得るためのものである。

単位セメント量は「270kg/m³以上450kg/m³以下」と上限が定められていたが、本指針での対象とするコンクリートの設計基準強度が36N/mm²から48N/mm²に引き上げたことに合わせ、単位セメント量の最大値の記載をなくし270kg/m³以上で所要のワーカビリティーが得られる範囲内でできるだけ小さく定めることとした。

コンクリートの乾燥収縮率を低減する代表的な材料である膨張材、収縮低減剤の使用方法は膨張材・収縮低減剤指針を参照することとした。また2020年に収縮低減剤がJIS化されたことから混和材料の箇所にその旨を記した。

使用する材料の乾燥収縮低減効果の例として、近年使用されている「高性能 AE 減水剤(収縮低減タイ

プ)」を**表3**に追記した。これは従来の高性能 AE 減水剤に収縮低減成分が加えられたものである。

また、コンクリートの乾燥収縮率が400×10⁻⁶以下とする「低収縮等級3」のコンクリートに対応する使用材料の組み合わせ例を**表4**に追記した。

5. 5章～7章

5章「施工および品質管理」では、3章「性能設計」、4章「仕様設計」を受け、施工者が実施する工事における実施事項や品質管理における実施事項・注意点などについて記している。有害な収縮ひび割れの制御は、適切な設計と入念な施工が行われて初めて成功するとして、本章の重要性が記されている。

今回の改定のポイントは、

・可能な範囲でJASS 5を参照とし、本文・解説をスリム化したこと。

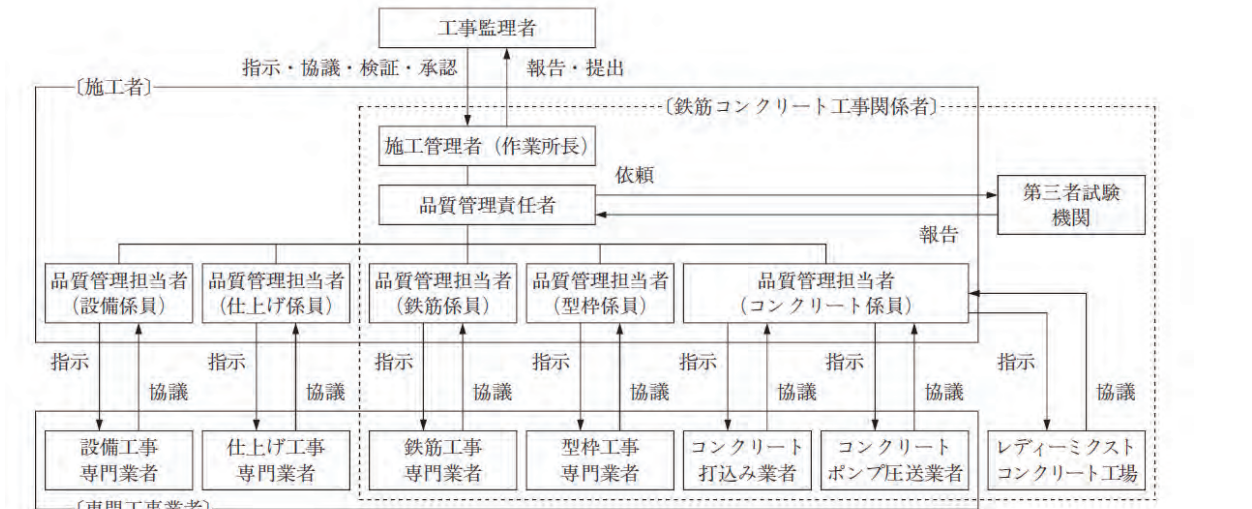


図7 品質管理組織の一例⁹⁾

表5 使用するコンクリートの試し練り時の性能と判断基準⁹⁾

性 能	使用するコンクリート試し練り時の判定基準	検査方法
仕上げ材の剥落抵抗性	使用するコンクリートの乾燥収縮率 ≦収縮ひずみの設計値	JIS A 1129(モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法)
たわみ増大抵抗性		

表6 性能に対する竣工時および契約不適合点検時の判定基準⁹⁾

性 能	竣工時の判定基準	契約不適合点検時の判定基準
鉄筋降伏抵抗性	—	鉄筋の引張応力≦降伏点 [*]
漏水抵抗性	各ひび割れの最大幅≦許容ひび割れの2/3	各ひび割れの最大幅≦許容ひび割れ幅
劣化抵抗性		

^{*}: 実際にはひび割れ幅で判定する。

・施工者の試験・検査の規定を5.1d項に記載し、各節の記載から削除したこと。

・練混ぜから打込み終了までの時間の限度を、JASS 5と同様の時間に変更したこと。

等であり、他に大きな変更点はない。

施工者が実施する施工計画、品質管理計画について5.1節の総則に述べ、品質管理組織を図7のように例示している。特に4章「仕様設計」で採用される対策例として、意匠・構造設計における鉄筋比によるひび割れ幅制御や誘発目地設置によるひび割れ位置・本数制御、調合設計によるコンクリートの仕様等に必要な品質管理項目と施工における留意点が記されている。

6章「検査」では、主に工事監理者が実施する検査項目について記している。完成した構造体および部材が設計図書に定められた品質を確保するために工事

全般にわたって検査を行わなければならないとして、工事監理者が実施する検査体系の一例などが解説図に示されている。

今回の改定のポイントは、

・「瑕疵点検時」を「契約不適合点検時」に変更・統一したこと。

・仕様設計時には単位水量180kg/m³以下(ブリーディング量0.3cm³/cm²以下を満足する時は185kg/m³以下)の確認を明記したこと。

・調合の確認は「納入伝票」によって行うことに修正したこと。

等であり、他に大きな変更点はない。また、工事監理者が実施する検査の対象となる性能とその判断基準が**表5**、**6**のように示されている。

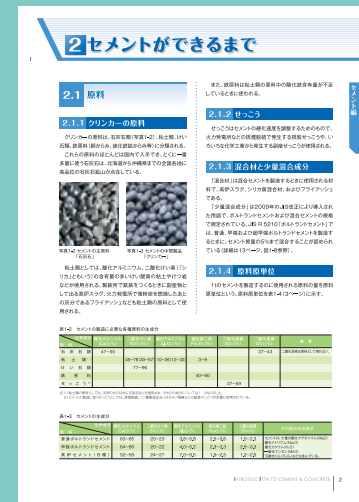
7章「ひび割れ補修」では、調査・診断、補修計画、

「セメントの常識」
 緑の表紙の常識、新版出ました！

セメントの常識

INTRODUCTION TO
CEMENT & CONCRETE

一般社団法人
セメント協会



「はじめて学ぶ セメント・コンクリート」をコンセプトに1973年から47年、おなじみの「常識」が第24版を迎え発行いたしました。「セメントはなぜ固まるの?」「コンクリートって何ですか?」といった初歩的な疑問から、セメント・コンクリート技術とその使い方まで、さらに環境のことを考えたセメント産業の「いま」、セメントに関する国内外の統計データをカバー。最新のJISにも対応済みです。次代を担う新人の研修から知識の再整理まで、自信を持っておすすめするお役に立てる一冊です。

A4版・オールカラー 72ページ 定価2200円（税込）
（月刊セメント・コンクリート定期購読者は1割引）

お求め・お問い合わせは…

一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで
 東京都中央区新富二丁目15番5号 RBM築地ビル2階
 TEL 03-5540-6173 FAX 03-5540-6181

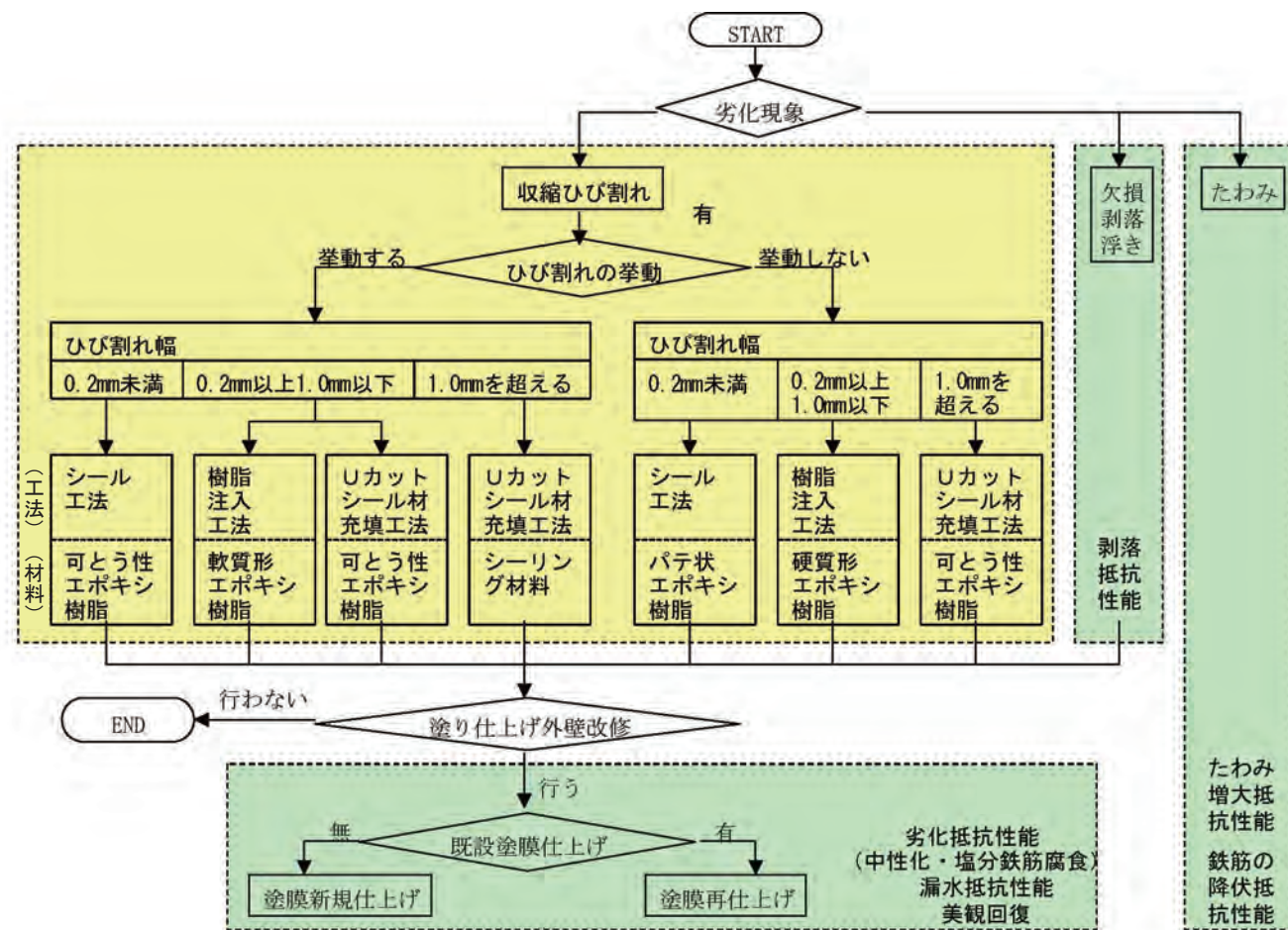


図8 ひび割れ補修工法選定フローの例(コンクリート打放し仕上げ外壁)⁹⁾

補修工事および点検について記している。調査・診断の実施に際して承認を求める相手を明記した以外に大きな改定項目はない。6章「検査」により補修が必要と判断されたひび割れに対し、速やかに適切な処置が施されることを原則とし、補修計画に際しての補修工法選定フローの例が図8のように示されている。

【参考文献】

- 1) E. Gartner, I. Maruyama, J. Chen / A new model for the C-S-H phase formed during the hydration of Portland cements, Cem. Concr. Res. 97 (2017) 95-106.
- 2) 日本建築学会／日本建築学会の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案), 2006
- 3) 丸山久一／垂井高架橋のひび割れ損傷事故-その原因と今後の課題, セメント・コンクリート No.725, pp.14~18, 2007
- 4) I. Maruyama / Multi-scale review for possible mechanisms of natural frequency change of reinforced concrete structures under

an ordinary drying condition, J. Adv. Concr. Technol. 14 (2016) 691-705.

- 5) I. Maruyama / Impact of drying on concrete and concrete structures, RILEM Tech. Lett. 7 (2022) 1-11. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2022.154>.
- 6) 日本建築学会／鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針(案)・同解説, 2004
- 7) 日本建築学会／鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説, 2016
- 8) 日本建築学会／膨張材・収縮低減剤を使用するコンクリートの調合設計・製造・施工指針(案)・同解説, 2017
- 9) 日本建築学会／日本建築学会の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案), 2023
- 10) 日本建築学会／建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, 2022
- 11) 土木学会／コンクリート標準示方書, 2018
- 12) 大野拓也, 井上和政, 野口貴文, 今本啓一, 丸山一平／体積表面積比の影響を考慮した乾燥収縮ひずみ予測式の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), Vol. A-1, pp.385-386, 2019.9
- 13) 橋田 浩／鉄筋コンクリート造外壁の収縮ひび割れ幅と本数の簡易推定式の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), Vol. A-1, pp.645~646, 2005.9
- 14) 寺西浩司, 中村雄一／乾燥収縮するコンクリート壁面の拘束度マップ, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.729, pp.1771~1778, 2016.11

汎用性の高い環境配慮型コンクリートの開発

～H-BA コンクリート～

Development of environmentally considerate concrete with high versatility
H-BA Concrete

金子 樹

1. はじめに

環境配慮問題に関する様々な取り組みがされる昨今では、企業が排出する二酸化炭素（以下、CO₂と略）は、国際基準のGHG（Greenhouse Gas：温室効果ガス）プロトコルにより、自社のみでなく、事業を通じて他社から排出されるものを含むサプライチェーン全体での取組として求められている。

（株）長谷工コーポレーションは、分譲マンションなどの集合住宅の設計・施工を主としたゼネコンである。そのため、建設物のほとんどは鉄筋コンクリート造であり、コンクリートの使用量も多い。図1に当社の企業活動における2020年度のCO₂の排出量を示す。GHGプロトコルにおける温室効果ガスのサプライチェーン排出量はScope1～3の合計で示されるが、そのほとんどはScope3の間接排出となる。Scope3のうちカテゴリー11とは、当社が引渡しをした建物の供用のために排出されるCO₂を示し、建設時のCO₂排出はカテゴリー1に分類される。この集計では、当社が使用するコンクリートに由来するCO₂の排出量は、企業活動における約7%、建設活動の約25%と小さくない。

このような背景の中、本稿ではコンクリート材料に由

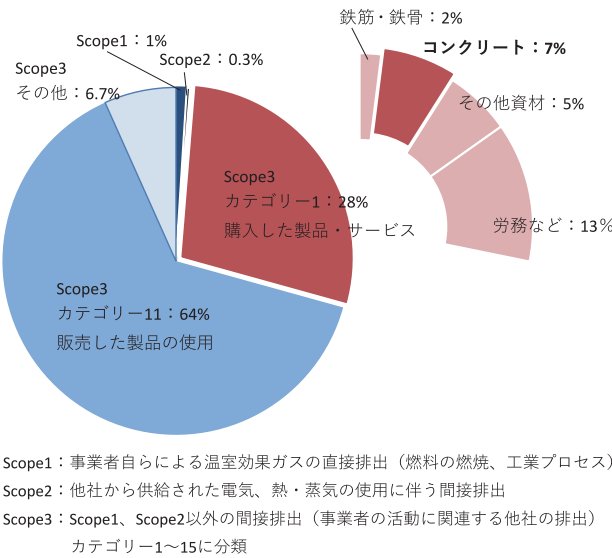


図1 当社の企業活動におけるCO₂排出量(2020年度)

来するCO₂排出量の削減効果を有する環境配慮型コンクリート技術のひとつである「H-BA コンクリート」の概要、施工事例および将来の展望を紹介する。

2. H-BA コンクリートとは

2-1. 開発コンセプト

環境配慮型コンクリートの先行技術では、コンクリートに使用するセメントの70%以上を高炉スラグ微粉末などの混和材料に代替することで60%以上の膨大なCO₂の排出量を削減するものであった。これは、ポルトランドセメントは製造時では燃焼エネルギーや石灰石の熱分解によりCO₂が生じるのに対し、混和材料は別産

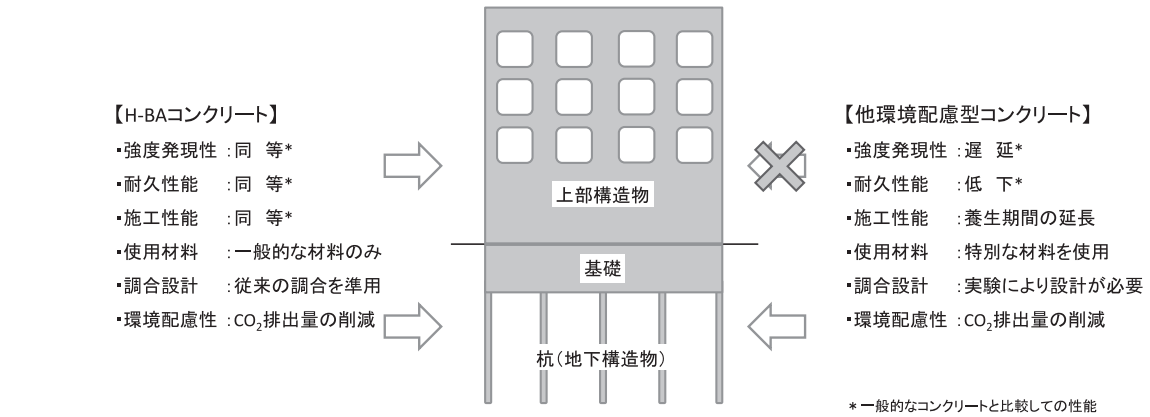


図2 H-BAコンクリートの開発コンセプト

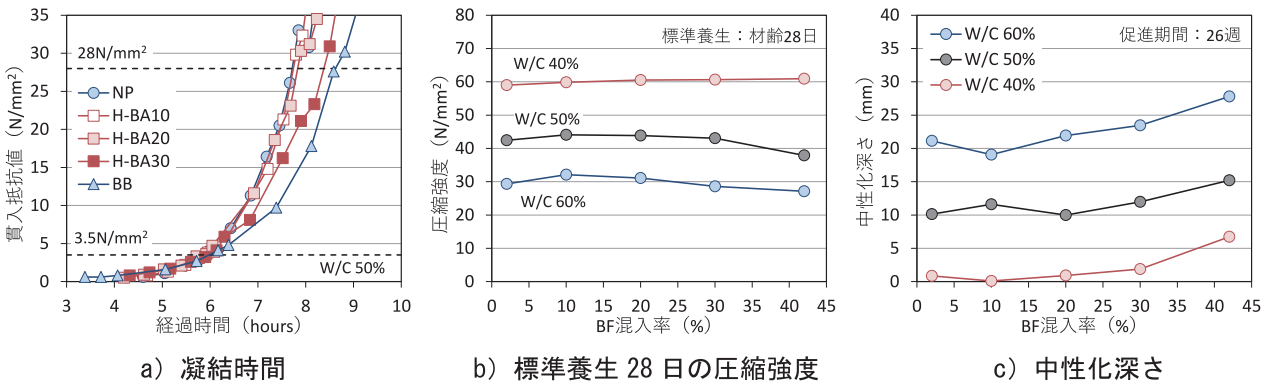


図3 H-BAコンクリートの各種性能の例

業の副産物であることからCO₂の排出源としては少量であることによる。

また、先行の環境配慮型コンクリートでは、水和熱の低減や、凝結・初期の強度発現の遅延、中性化抵抗性の低下といったコンクリートの性能が変化することから、建築物では地下構造物への適用がほとんどであった。加えて、製造には生コン工場で標準化していない混和材料を用いることとなり、その手配、保管、管理および調合検討が必要であった。

H-BAコンクリートの開発検討では、これらの課題を解決し、一般のコンクリートへ置き換えが可能で汎用的に使用できることを目標に、①建築物の地上構造物に適用可能なこと、②生コン工場やプレキャストコンクリート製品工場で容易に製造できることをコンセプトとして重要視した(図2)。

2-2. 技術の概要

上記のコンセプトより、H-BAコンクリートは、普通ポ

ルトランドセメント(以下、Nと略)および高炉セメントB種(以下、BBと略)を併用により製造することとした。そのため、H-BAコンクリートは、現在では市場への流通がないものの、性能が普通ポルトランドセメントと同等とされる「高炉セメントA種」を用いたコンクリートに相当するものとなる。

また、H-BAコンクリートでは、併用するNとBBの割合を調整することで、セメントの総量に対する高炉スラグ(以下、BFと略)の混入量および、これに応じたコンクリートの性能をコントロールできる。

H-BAコンクリートの性能ついて、図3に示す。NとBBを併用することで、セメントの総量に対するBF混入量を20%以下とすることにより、凝結時間(図3)中の記号BA20)、標準養生における28日圧縮強度および促進中性化試験における中性化深さはNと同程度となる。

このように、H-BAコンクリートでは、フレッシュコンクリートの性状や強度発現性、耐久性および施工性がNを用いたコンクリートと同等¹⁾であることを明らかにし、①その



かねこ たつき / KANEKO Tatsuki
(株)長谷工コーポレーション 技術研究所
博士(工学)

表1 H-BAコンクリートの採用案件の概要

所在地	兵庫県神戸市西区
構造、規模	鉄筋コンクリート造 地上10階
用途	賃貸マンション
事業主	株式会社 長谷工不動産
設計者	株式会社 ユマ設計 株式会社 長谷工コーポレーション
施工者	株式会社 長谷工コーポレーション



写真1 H-BAコンクリートの採用案件のイメージと施工風景

性能から普通コンクリートの代替として採用が可能であり、②全国の生コン工場の98%以上が日常的に保管・使用している²⁾2種類のセメントのみを使用し、③生コン工場等が標準化するNの標準調合を準用して調合設計できる環境配慮型コンクリートとなる。

なお、このようなH-BAコンクリートに関する、CO₂排出量の削減効果や強度発現性、耐久性、施工性、調合設計手法について、(一財)日本建築総合試験所より、建設材料技術性能証明(GBRC 材料証明 第17-21号 改1)を取得している。

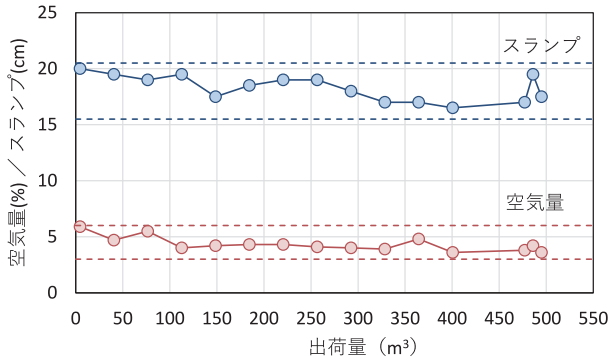
3. H-BAコンクリートの採用事例

建築物に使用するコンクリートは、建築基準法第37条(建築材料の品質)により、一号の日本産業規格(JIS)に適合するもの、または二号の国土交通大臣の認定を受けたもののいずれかの必要がある。ここで、一号で適合性が求められる規格とは、平成12年建設省告示第1446号により、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)とされている。加えて、法第37条でいう適合するコンクリートとは、必ずしもJIS A 5308による認

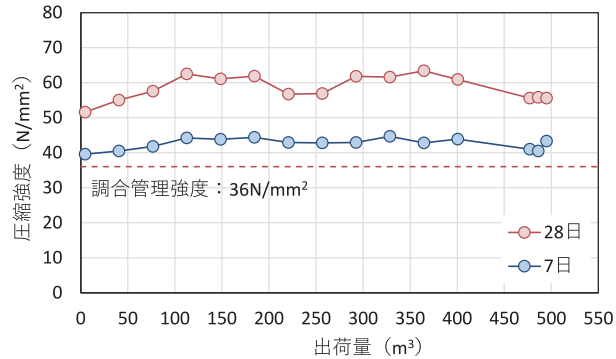
証を受けた“JISマーク表示製品”のみでなく、マークは付されていないが規格の内容に当てはまることが建築主事等により判断される“JISマーク表示製品以外の製品”も含まれる。

H-BAコンクリートは、上記のうち“JISマーク表示製品以外の製品”として法第37条に適合するコンクリートに位置付けられ、これまでに首都圏および近畿圏の建築工事で3,000m³以上の施工実績を有し、175t以上のCO₂排出量の削減効果を得ている。

なかでも、兵庫県神戸市の物件では(表1, 写真1)、建築工事に使用する約2,500m³すべてのコンクリートでH-BAコンクリートを採用して施工中であり、約145tのCO₂排出量の削減を見込んでいる。本物件でのH-BAコンクリートの初施工は基礎部材であり、同日中にひとつの生コン工場から約500m³の連続出荷を行った。使用したH-BAコンクリートは、呼び強度36、スランプ18cm、空気量4.5%でセメント総量に対してBF混入率を20%とした。H-BAコンクリートの施工初日の受入検査の結果を図4に示す。生コン工場から施工現場までの運搬時間は約30分であり、スランプ、空気量ともに1日を通して管理値の範囲で安定していた。また、圧縮



a) スランプおよび空気量



b) 圧縮強度

図4 H-BAコンクリートの受入検査結果

強度は材齢7日で調合管理強度の36N/mm²を超える十分な強度発現を示していた。

また、分譲マンションなどの住宅建築では、その性能を共通基準で評価する制度として、住宅の品質確保の促進等に関する法律(品確法)に基づく“住宅性能表示”がある。これは、住宅の性能に関して第三者機関より客観的な評価を受けるもので、公正な性能の見える化や経済的な優遇を得られる制度である。

この住宅性能表示制度における評価基準とは、平成13年国土交通省告示第1347号(最終改正 令和4年国土交通省第378号)で評価方法基準が定められている。このうち、コンクリートの性能に求められる性能は、中性化を対象にした劣化対策であり、十分な中性化抵抗性を確保するためのコンクリートの水セメント比とかぶり厚さなどが定められている。

しかし、現行の基準ではH-BAコンクリートのようなセメントを複数種類使用する場合や、前述の混和材料を使用する環境配慮型コンクリートが想定されていない。そのため、環境配慮型コンクリートでは、求められる性能に対して、合理的・経済的なコンクリートの調合設計が現実的ではない。

一方で、品確法第58条第1項では、評価方法基準に代えて、国土交通大臣が個別に評価する方法を定める「特別評価方法認定」を定めている。

H-BAコンクリートでは、この特別評価方法認定(国住生第178号 認定番号1649)を取得しており、分譲マンションをはじめとした住宅性能表示が求められる住宅建築への採用を可能としている。

4. 製造できるコンクリート工場の制限の緩和

4-1. 生コン工場の設備条件の緩和の検討

H-BAコンクリートの展望を考えるうえで、製造できる生コン工場の拡大が最重要である。現在、H-BAコンクリートの製造においては、使用するNとBBをそれぞれ個別の計量器で計量することとしている。これは、JIS A 5308において粉体同士となるセメントと混和材料の累加計量が認められていないことや、開発初期にはH-BAコンクリートが製造・施工実績のない新技術であったことを鑑みての条件としていた。

一方で、このような製造を行うにはセメント(または混和材料)の計量器が2器以上備わっている工場が条件となり、これに見合う生コン工場は首都圏や近畿圏でも40～50%程度と限定であり、他の地域では稀であるのが実状である。

そこで、1器のセメント計量器のみで2種類のセメントを累加計量するH-BAコンクリートの製造について検討を進めている。

4-2. 累加計量で製造したH-BAコンクリートの性能

H-BAコンクリートの製造について、図5のようにセメント計量器を2器用いる従来の個別計量法と、1器のみを用いる累加計量法で製造したコンクリートの性能を関東および関西の3つの生コン工場(A～C工場)で実機検証を行った。

実験は、呼び強度36、スランプ21cm、空気量4.5%

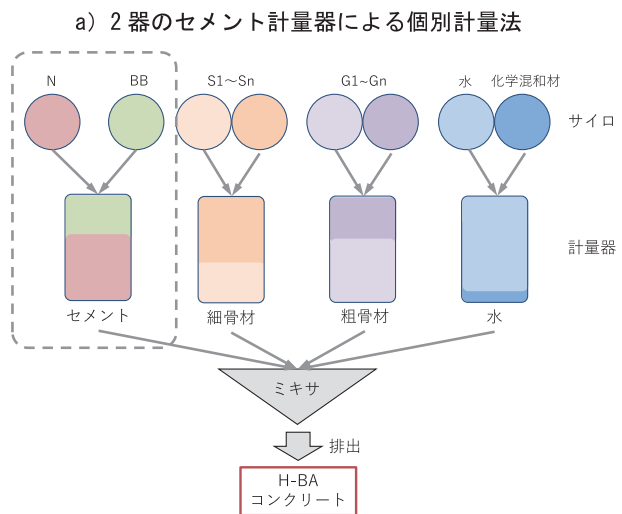
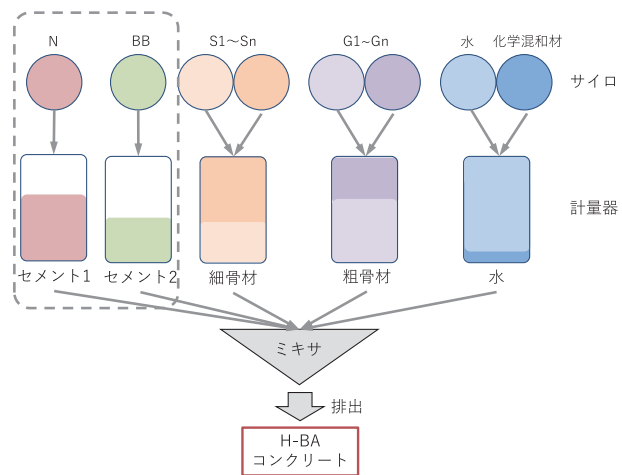


図5 H-BAコンクリートにおける材料の計量方法

でセメント総量に対しBF混入率が20%のH-BAコンクリートについて行った。その結果、経過時間90分までのフレッシュコンクリートの経時変化(図6)および強度発現性(図7)に、セメントの計量方法による違いは見られず、同程度の性能のコンクリートが製造できることを確認した。

4-3. 累加計量時の計量誤差の考え方と試算

H-BAコンクリートの製造にあたり、セメントの計量値は、個別のセメントである①N、②BBおよび総量の③N+BBの3項目で管理することが望ましい。しかし、一般的に市場に普及している生コン製造の操作盤の仕様では、3項目すべてを管理することは難しいのが実状である。

そのため、現実的には上記の3項目のうち2項目について計量時には許容差(±1%)に対して管理、確認することとなり、残りの1項目は印字記録等より計算値で求め

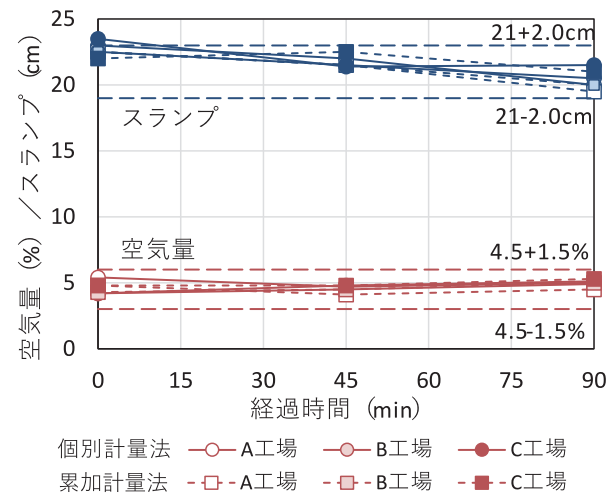


図6 フレッシュコンクリートの経時変化

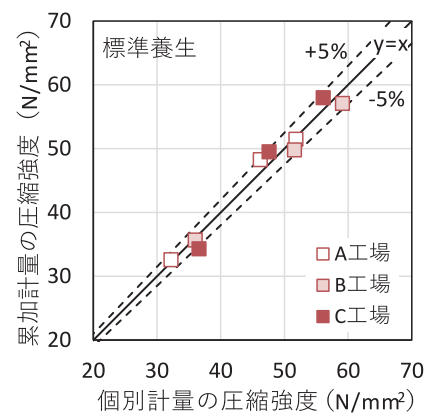


図7 各セメント計量法による圧縮強度

ることとなる。

これらの管理項目の組合せは図8のCase.1～Case.3となり、生コン工場の操作盤の仕様や設備などの条件により決定される。なお、Case.2およびCase.3の管理は、JIS A 5308において骨材や水と化学混和剤で累加計量を行う場合と同様である。

なお、前項で示した実機実験では、3つの生コン工場すべてで、個別計量法はCase.1の個別管理、累加計量法ではCase.2のN先行管理でH-BAコンクリートを製造している。

表2にCase.2のN先行管理におけるセメントの計量誤差とこれによる併用の割合への影響に関する試算結果を示す。試算は、セメント総量に対しBF混入率が20%となる割合のN：BB=55：45について、セメントの計量値の許容差をJIS A 5308におけるセメントにならない±1%(四捨五入で±1%となる範囲の-1.4～1.4%)、計量

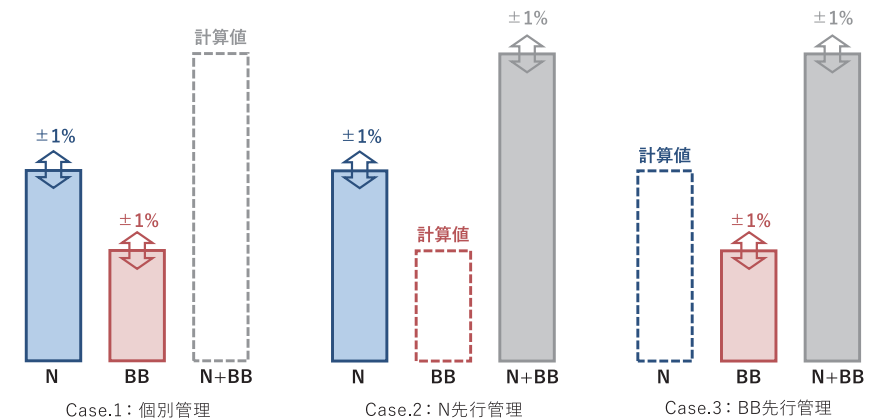


図8 セメントの計量値の管理方法

表2 N先行管理によるセメントの累加計量時の計量誤差およびセメントの割合における影響の試算

項 目	Case.2-1 N：下限, N+BB：下限			Case.2-2 N：下限, N+BB：上限		
	N	N+BB	BB	N	N+BB	BB
計量誤差	-1.4%	-1.4%	-1.3%	-1.4%	1.4%	5.1%
C割合	55	—	45	53	—	47
項 目	Case.2-3 N：上限, N+BB：下限			Case.2-4 N：上限, N+BB：上限		
	N	N+BB	BB	N	N+BB	BB
計量誤差	1.4%	-1.4%	-5.1%	1.4%	1.4%	1.3%
C割合	57	—	43	55	—	45

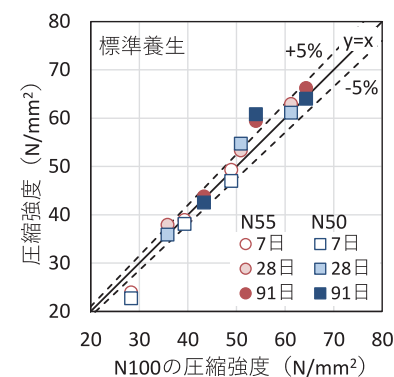


図9 N100との圧縮強度の関係

器の目量を1kg/m³とした。

図8で示すCase.1では、NおよびBBの各セメント量の計量値がそれぞれ±1%の許容差であることから、計算値となるN+BBの総セメント量も±1%の許容差に収まることは自明である。

一方で、表2に示すように、累加計量においてセメント計量値の管理方法となるCase.2(Case.3)では、表中の灰塗のように計算値で求められるNまたはBBのセメント量は許容差の±1%を超える可能性が試算される。

特に、Case.2-2では、BBの割合が47%と設計値の45%よりも大きくなる。図3で述べたように、セメント中のBF混入量が20%を超えて多くなると、コンクリートの性

能はBBに寄ることが懸念される。

4-4. 計量誤差によるコンクリートの品質への影響

そこで、セメント計量時の影響により各セメントの割合が変動した場合のH-BAコンクリートの品質について、室内実験を行った。実験は、Nのみを使用したN100に対し、N：BBが55：45のN55および50：50のN50の3条件について、呼び強度24、36および45とした。なお、N50は表2で試算されたBBの割合が最大の47%を超える範囲となる。

N100に対するN55およびN50の圧縮強度(図9)は、材齢7日の呼び強度24は小さく、材齢91日の呼び強



分を占めることが確認された。

CCUSTトライアル ―セメント産業におけるCO₂排出量削減のための解決策―

ICR Research.

International Cement Review

[4] 46～52(2022)

本稿は、世界各国で開発・試験運転が行われているCO₂の回収や利用、貯留(CCUS)技術の紹介記事である。

セメント産業は、世界のCO₂排出量の約8%を占め、2050年までにカーボンニュートラル(CN)を達成するためには、CCUSの展開が必要である。

セメント製造時に発生するCO₂の回収方法には、焼成工程での回収と排気ガスからの回収に大別される。焼成工程での回収方法として、LEILACのプロジェクトでは、煅焼炉のプロセスを改良して排気ガスを分離し、原料の石灰石から脱炭酸するCO₂の抽出を可能にした。また、排気ガスからのCO₂回収方法には、アミン等の溶媒によりCO₂を吸着させる化学吸着法や、CaO粒子を用いてCO₂を捕捉し、石灰石に再形成・再利用するカルシウム循環システムがある。他にも研究段階の方法として、選択透過性のある高分子膜で分離する技術や、CO₂を冷却して固体で回収する低温回収方法、太陽光を熱源とした焼成方法等も検討されている。

回収したCO₂は、多くの産業分野で再利用または地下貯留が試行されている。CO₂の再利用方法には、枯渇油田に注入し石油の回収率を向上させる原油増進回収法や、藻類培養や燃料への活用がある。また、岩石や生コンクリートにCO₂を注入して炭酸塩鉱物として固定する方法もある。一方、地下貯留では、CO₂を圧縮して液体にし、地下数kmに貯留するが、貯留場所への効率的な輸送が商用化への課題である。

これらCCUS技術は、セメント産業でのCNの達成に重要な役割を果たす一方で、技術開発や設備に持続的な投資が必要である。(60ページに続く)

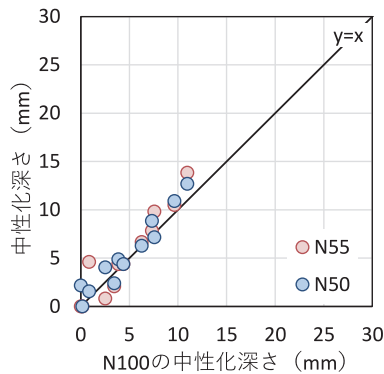


図10 N100との中性化深さの関係

度36は大きくなる傾向が見られたものの、コンクリートの強度設計および管理の対象となる標準養生の材齢28日の圧縮強度は、いずれも±5%程度の差と同程度であり、セメントの併用の割合の変動による圧縮強度への影響は小さかった。

また、促進中性化試験(JIS A 1153)における各測定時の中性化深さ(図10)では、促進期間が経過しコンクリートの中性化が進行することで、N55およびN50の中性化深さは、N100に対してわずかに大きいものの、両者は同程度であった。

なお、本稿で示す促進中性化試験の結果は、促進期間13週までである。日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説」では、促進期間26週間での中性化深さが25mm以下であることを求めており、これは中性化速度係数に換算すると4.9mm/√week以下となる。

本実験におけるN50およびN55の中性化速度係数は、図11のようにN100よりもわずかに大きいですが、呼び強度24でも4.0mm/√week未満と小さく、十分な中性化抵抗性を有していると考えられる。

このように、H-BAコンクリートをNとBBの累加計量で製造する場合には、セメントの併用の割合が設計値から変動することが想定される。しかしながら、製造されたH-BAコンクリートではN+BBの総単位セメント量は調合に対して±1%であること、BAコンクリートの品質がNを用いたコンクリートと同等であることを考慮すると、片方の種類のセメントの計量値が許容差の±1%を超え

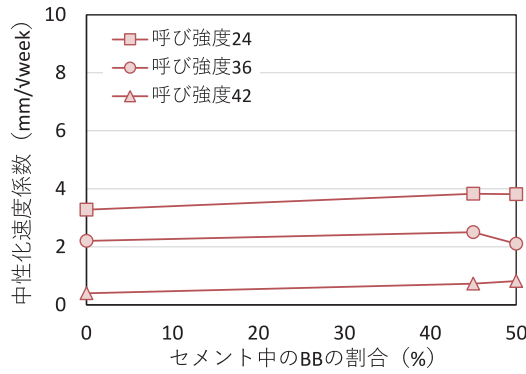


図11 BBの割合と中性化速度係数

ていてもコンクリートの強度発現性および耐久性への影響は小さいと考えられる。

5. おわりに

H-BAコンクリートの開発では、環境配慮性やCO₂の排出量削減効果を新たなコンクリートの性能として位置付けてきた。コンクリートは国内で年間7,600万m³超が製造され、その量は建設材料として最多である。これは、コンクリートが多種多様な要求に応えてきた故であり、その要求を環境配慮型コンクリートで対応することが普及のための条件と考える。

また、H-BAコンクリートのように種類の異なるセメントを使用するコンクリートなど、環境配慮・カーボンニュートラルに向けた対応の観点から、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)の2024年の改定では環境配慮型コンクリートを取り込む方針³⁾が示されている。

H-BAコンクリートは、本稿で紹介した住宅性能表示への対応や、累加計量法の採用など、さらなる汎用性の向上を目指し、製造可能なコンクリート工場や適用範囲の拡大の推進を図り、一般的なコンクリートとして普及することに期待する。

【参考文献】

- 金子樹, 大倉真人, 榊田佳寛／普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種の混合使用により高炉セメントA種相当としたコンクリートに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第86巻 第783号, pp.674～685, 2021.5
- 田村友法, 柳田淳一, 河野政典, 竹内博幸, 若林信太郎, 加藤淳司, 松田拓／レディーミクストコンクリート工場を対象としたアンケート調査, その1 アンケート調査の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.603～604, 2013.7
- 日本コンクリート工学会／第29回生コンセミナー「挑戦する生コン業界」配布資料, 2022.7

床版取替工事への超高耐久床版の適用 中国自動車道 蓼野第二橋下り線

Application of Ultra-High Durable Slab for deck slab renewal of
Tadeno second Bridge in Chugoku Highway

福田 泰樹 松井 隆行 内堀 裕之 岡野 雅

1. はじめに

現在、日本の高速道路橋は高度経済成長期以降に急速に整備された橋梁の劣化が著しく、近年、塩害や中性化などによる鉄筋の腐食に起因するコンクリート片の剥落といった第三者被害が生じた事例が報告されている。

一方で、少子高齢化による担い手不足が深刻化しており、激甚化・頻発化する自然災害からの復興や国土強靱化推進のためには効率的かつ戦略的な維持管理システムの構築が必要不可欠である。維持管理の負担を低減させるために、構造物をより耐久性に富んだ構造とすることが緊急の課題である。

このような社会背景を鑑み、西日本高速道路(株)と

三井住友建設(株)では、鉄筋やPC鋼材などの腐食性のある金属材料を使用しない、メンテナンスコストの大幅な低減が見込まれる「超高耐久床版(以下、Dura-Slabと称す)」と「超高耐久壁高欄(以下、Dura-Barrierと称す)」を開発し、2021年に蓼野第二橋(下り線)において本構造が適用された。

本稿では、Dura-SlabおよびDura-Barrierの技術概要、蓼野第二橋(下り線)に適用するに当たって、実施した検討・および現場での施工・工夫について紹介する。

2. 技術概要

Dura-SlabとDura-Barrierの概要図を図1,2に示す。

Dura-Slabは鉄筋やPC鋼線といった鋼材を使用せず、ポリビニルアルコール(PVA)繊維を用いた高強度繊維補強コンクリートにアラミドFRP(Aramid Fiber Reinforced Polymer, AFRP)ロッドでプレストレスを導入したプレキャスト床版である。AFRPロッドはアラミド繊維をビニルエステル樹脂で固めてロッド上に加工したものであり、PC鋼材と同等の引張強度を有する(表1)。

Dura-Barrierは、PVA繊維を用いた高強度繊維補強コンクリートにガラス繊維補強プラスチック(GFRP)ロッドを補強材として適用したプレキャスト壁高欄である。GFRPロッドは、ガラス繊維をビニルエステル樹脂で固めてロッド上に加工したもので、鉄筋と比較して高強度

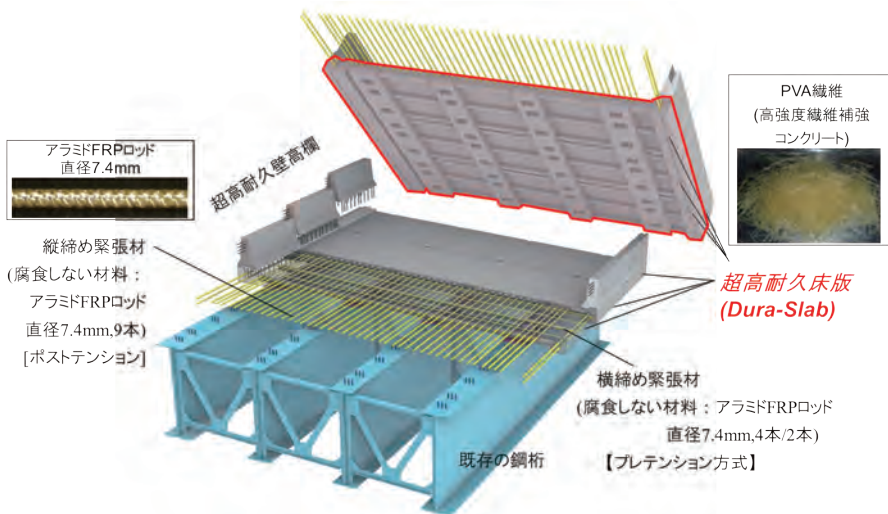


図1 Dura-Slab概要

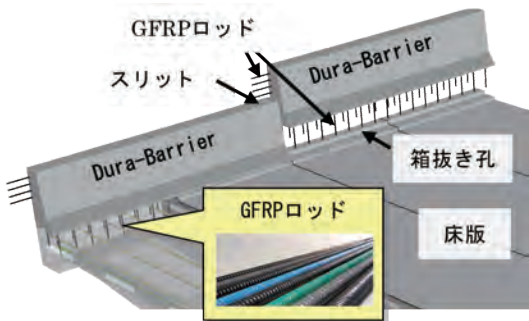


図2 Dura-Barrier概要



写真1 AFRPロッド定着体(4φ)

であり、低弾性である(表2)。

AFRPロッドおよびGFRPロッドは腐食しない材料であり、鋼材の腐食による床版や壁高欄の劣化を根本的に解決できると考えられる。

2-1. Dura-Slab

Dura-Slabは、工場製作のプレキャスト床版にPVA短繊維を使用した高強度繊維補強コンクリートを適用す

表1 AFRPロッド性能

項目	単位	AFRPロッド (φ 7.4mm)	PC鋼より線 (7本より線 12.4mm)
断面積	mm ²	42	52
引張強度	N/mm ²	1920	1720
弾性係数	N/mm ²	53000	185000

表2 GFRPロッド性能

項目	単位	GFRPロッド (P60-20)	鉄筋 (D22 SD345)
断面積	mm ²	314	387
引張強度	N/mm ²	1000	490
弾性係数	N/mm ²	60000	205000

ることで通常の床版よりも高い引張強度と靱性を付与し、緻密な組織により劣化因子が浸入困難な床版構造を実現した。

さらに、図1に示すようにAFRPロッドを2方向に配置し、プレストレスを与えることで、床版に発生する引張力を制御している。縦締めケーブルは床版パネルを現場で架設した後に一体化するためにポストテンションとし、9本束のAFRPロッドを使用した。一方で横締めケーブルはプレテンションとし、2本束と4本束のAFRPロッドを使用して工場製作時にプレストレスを与えた。

AFRPロッドの緊張について、楔を使用すると楔の歯で樹脂や繊維が噛み切れるため、AFRPロッドをスリーブに挿入し、無収縮モルタルを注入してこれらを一体化させた定着体を使用して行う(写真1)。プレストレスはコンクリートあるいはモルタルが硬化した後に緊張ジャッキの反力を解放することで導入される。



ふくだ たいき / FUKUDA Taiki
西日本高速道路(株)
技術本部 技術環境部 構造技術課
修士(工学)



まつい たかゆき / MATSUI Takayuki
同上
課長代理



うちぼり ひろゆき / UCHIBORI Hiroyuki
三井住友建設(株)
土木本部 構造開発技術室
修士(工学)



おかの まさし / OKANO Masashi
同上
修士(工学)

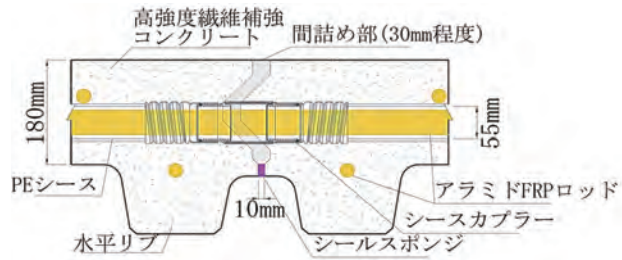


図3 床版パネル継手



写真2 Dura-Barrier

床版形状をリブ付き床版構造とすることで床版厚さを180mmとすることができ、床版パネルの軽量化を実現した。

通常のPC床版では継手筋を設置するため、床版同士の間隔に500mm以上の間詰を必要とするが、Dura-Slabでは継手筋を設置せず、床版相互の間隔を30mmとした。Dura-Slabの接合は、接合部に超低収縮型の無収縮モルタルを充填した後にAFRPロッドで橋軸方向にプレストレスを導入することで一体化する(図3)¹⁾。

また、一般的には鋼桁との接合スタッドの設置や床版の高さ調整のため床版上面に施工開口を設けている。Dura-Slabでは床版内部への劣化因子の浸入を抑制するため、上面に施工開口を設けない構造とした。そのため、床版を貫通しない箱抜き孔を設け、スタッドにより鋼桁と一体化する(図4)、高さ調整は鋼桁との間にプレートを設置するなど、施工開口を設けない方法を実施した。

なお、Dura-Slabは実物大の輪荷重走行試験により、100年以上の供用に相当する繰返し载荷に対し、十分な疲労耐久性を確認している²⁾。

2-2. Dura-Barrier

Dura-Barrierは、PVA短繊維を使用した高強度繊維

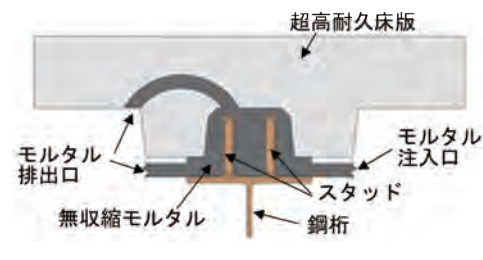


図4 プレキャスト床版-鋼桁接合構造

維補強コンクリートに補強材としてGFRPロッドを適用したフロリダ形状のプレキャスト壁高欄である(写真2)。

Dura-Barrierと隣接する壁高欄や床版との接合は、部材の側面や底面から露出させたGFRPロッドを隣接部材のスリットや床版の箱抜き孔に収め、高強度無収縮モルタルを注入することによって一体化を行う。接合構造の安全性は、重量7tの台車を用いた衝突試験により確認した。

3. 蓼野第二橋(下り線)の概要

蓼野第二橋は中国自動車道の六日市IC～鹿野IC間に位置する橋長103m、幅員10.2mの鋼2径間非合成鈹桁橋である(図5)。本橋梁を含む区間は山間部に位置しており、凍結防止剤の累積散布量が1000t/km以上の区間であるため、凍結防止剤に含まれる塩化物によって床版内部の鉄筋が腐食し、コンクリートの剥離、漏水や土砂化が確認されていた。

供用環境による床版劣化の抜本的な対策が求められたことから、本橋梁の床版取替工事ではDura-SlabおよびDura-Barrierを採用した。

なお、Dura-Slabを採用するため、AFRPロッドを橋梁全長100mにわたって配置している。また、中間支点部において追加でAFRPロッドを配置している。

4. 実橋適用に対する検討

4-1. 実証橋の建設

Dura-Slabは非鉄製材料のみによる補強だけでなく、床版上面に施工用の開口を設けないという構造も

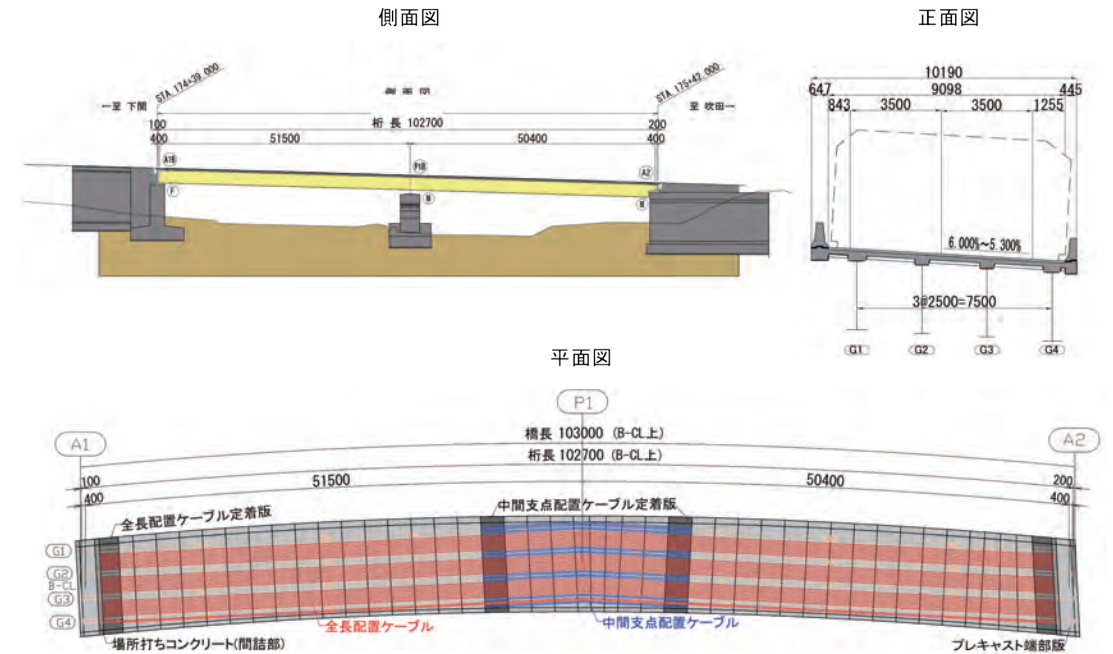


図5 蓼野第二橋(下り線)橋梁全体一般図



写真3 実証橋施工

特徴である。そのため、ずれ止めのスタッドの設置や床版の吊上げ架設、高さ調整など、通常のPC床版では床版上面に設置した開口や鋼製治具によって行っていた作業を、Dura-Slabを適用した床版取替工事では異なる手法で実施する必要があった。そこで、支間長10m幅員6mの実証橋によってDura-Slabの製作から架設までの一連の施工性について検討を行った(写真3)。

実証橋の製作と架設を通じて、Dura-Slabの施工が実現可能であることを確認できた。その一方で、一連の施工を通じて得られた課題や解決案は蓼野第二橋(下り線)の設計や施工計画、構造細目や床版製作・施工管理にフィードバックした。

また、実証橋の供用前後に車両载荷試験を実施し、

さらに約3か月間工事用車両の通路として供用することで検証を行った。

車両载荷試験の結果、荷重に対する応答値は設計値通りであり、供用前後で同様の応答が得られたことから、本構造の設計施工の妥当性が確認できた。さらに、実証橋を供用した3か月間に実証橋のひずみやたわみのモニタリングを行った結果、時間経過や温度変化に対しても大きな変化は確認されなかった。

4-2. AFRPロッド縦締め実物大施工試験

蓼野第二橋(下り線)は全長103mの橋梁であり、その全長にわたってAFRPロッドの緊張を行う。しかし、100mを超えるAFRPロッドの緊張実績がなかったことから、本橋梁の一部を模擬した試験体を用いてAFRPロッド



写真4 実物大試験

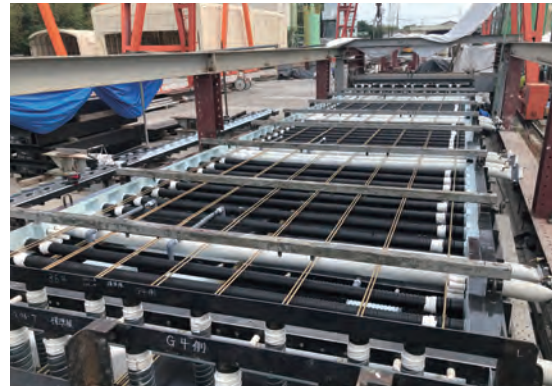


写真5 Dura-Slab工場製作



写真6 Dura-Slab吊り上げ

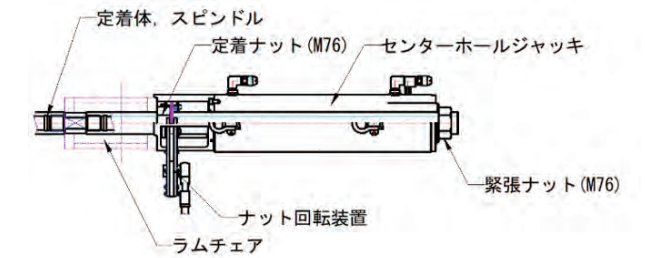


図8 FRPロッド緊張ジャッキ

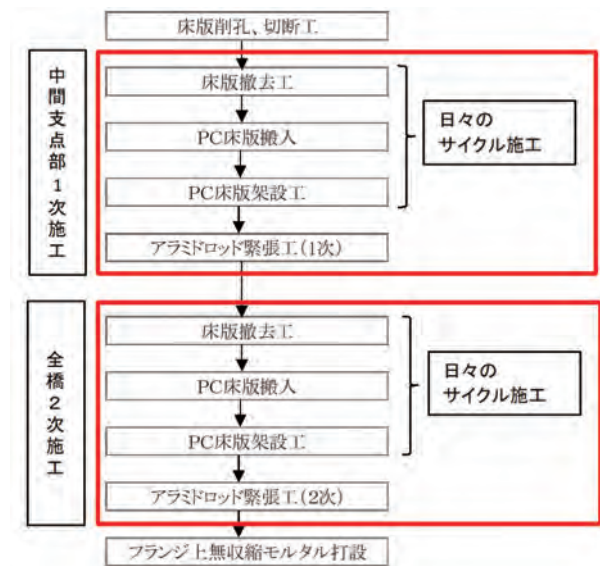


図6 施工ステップ

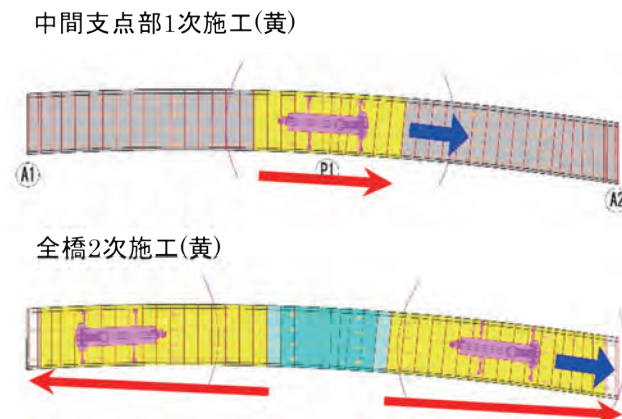


図7 1次施工・2次施工箇所

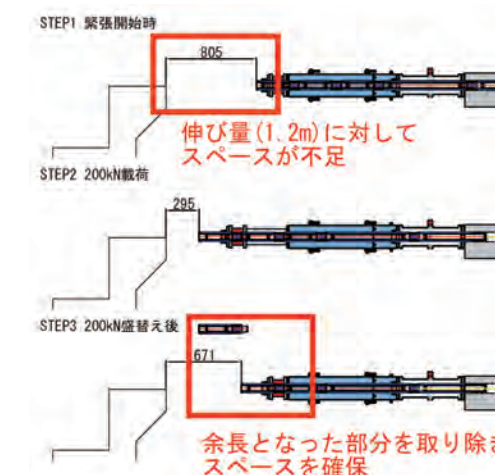


図9 AFRPロッド緊張手順

ドの挿入、緊張、定着の試験を行い、一連の施工性を検証した(写真4)。

本試験において、AFRPロッドに損傷を与えることもなく挿入から定着まで安全に実施することができた。これにより、蓼野第二橋下り線のような100mを超える橋梁でAFRPロッドの緊張施工が可能であることを確認した。

また、本試験により蓼野第二橋におけるAFRPロッドの緊張管理手法と作業手順を確立した³⁾。

5. 現場施工と技術的工夫

5-1. 工場製作

Dura-SlabおよびDura-Barrierは工場にて製作を行い、現場へ運搬・架設を行う(写真5)。

Dura-Slabには工場での製作時に橋軸直角方向

にプレテンション方式でプレストレスを与え、橋軸方向に現場でAFRPロッドを挿入するためのシースを設置した。

5-2. 施工手順

本橋の施工ステップを図6、1次施工と2次施工の施工箇所を図7に示す。

床版取替工事では、橋梁の端部から架設を行うことが多い。しかし、本橋では中間支点部に追加配置したAFRPロッドを緊張するため、中間支点部から施工を行った。中間支点部の施工後、中間支点部から橋梁の両端に向かって床版の架設を行った。

既設床版の撤去後に接続用のスタッドを溶接、スタッドが箱抜き孔に収まるように製作した床版パネルを架設する。対象の床版の架設後に床版同士の接合部に

間詰モルタルを打設し、モルタルの硬化を待ってAFRPロッドを緊張した。これを中間支点部と全橋でそれぞれ行い、全橋のAFRPロッドの定着が完了して一体化した後に鋼桁と床版の間に無収縮モルタルを打設した。

5-3. Dura-Slabの架設

一般的に、床版パネルの吊上げは床版上面に設置した鋼製の吊り治具を用いて行う。しかし、鋼材を設けないことと床版上面に開口を設けないため、Dura-Slabの吊上げは小口面に埋設したセラミック製インサートを介して行った(写真6)。

蓼野第二橋(下り線)では、床版を8箇所で支持し、縦横断面勾配に対応させながら架設を行った。床版架設時に過大な局所応力が床版に作用しないように、4基の滑車を用いて各支持点の吊上げワイヤーの張力が均等となるように配慮した。

5-4. AFRPロッドの緊張

本橋梁では床版下面に定着突起を設けてAFRPロッドを緊張することが困難だったため、床版小口面で緊張・定着を行った。

しかし、AFRPロッドは緊張時の伸びがPC鋼線より大きく、本橋梁の全長ケーブルでは両側緊張で行っても片側の伸びが約1.2mとなる。緊張装置から橋台までの距離は0.8mしかなく、十分な緊張スペースの確保が困難であった。そのため、本橋梁では定着体に接続できる同径のスピンデルと定着体を掴み緊張できる太径のセンターホールジャッキを用いた緊張システムを使用した(図8)。

このシステムは別荘谷橋でも使用しており、太径のセンターホールジャッキの先端にラチェットなどを使うナット回転装置の付いたラムチェアが接続されている。緊張はジャッキ後方のナットで、定着はラムチェア内のナットで行う。

このシステムを使用した本橋梁の緊張手順を図9に示す。



写真7 AFRPロッド緊張(縦締め)



写真8 蓼野第二橋(下り線)完成

緊張開始時は伸び量に対して、十分な緊張スペースが確保されていないが、盛替え時にジャッキから露出した余長部分のスピンドルを取り外すことで橋台までの間隔が改めて確保される。これを盛替えの度に繰返すことで、狭い空間での緊張作業が可能になった(写真7)。

5-5. AFRPロッドの定着モルタルの注入

床版内に金属製の楔を残さないため、AFRPロッドは高強度無収縮モルタルによる付着定着とした。プレストレスはモルタルの硬化後に緊張ジャッキの反力を解放することで導入される。

しかし、高強度無収縮モルタルは粘性が高いため全長100mのシースに注入することは困難である。そのため、高強度無収縮モルタルとグラウトの境界に増粘剤系モルタルを注入することで仕切り壁を先行して形成する手法を採用した(図10)。

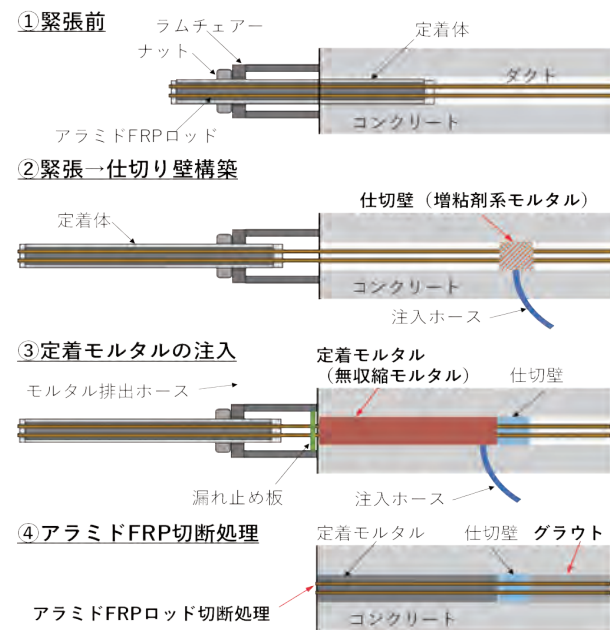


図10 モルタル注入ステップ

6. おわりに

腐食劣化の要因となる金属製材料を使用しないDura-Slabを開発し、先に実用化されていたDura-Barrierと合わせて、蓼野第二橋(下り線)において完全な非鉄製構造による床版取替工事を実現することができた(写真8)。これにより、当該橋梁が塩害や中性化の影響を受けることはなく、長期に渡っての供用が期待される。

最後に、Dura-SlabおよびDura-Barrierの開発から蓼野第二橋の完成まで多くのご指導、ご協力を頂いた関係者の皆様方に深く感謝の意を申し上げます。

【参考文献】

- 1) ランコスチャミラクマラ, 狩野武, 和田圭仙, 藤井雄介 / Experimental study on ultrahigh durable slab to girder joint in steel plate girder bridges, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, Vol.29, pp.347~350, 2020.10
- 2) 福田雅人, 芦塚憲一郎, 狩野武, 三加崇 / 超高耐久床版の疲労耐久性に関する実験的検討, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, Vol.26, pp.555~558, 2017.10
- 3) 篠崎裕生, 松尾祐典, 和田圭仙, 内堀裕之 / 超高耐久床版における全長約100mのアラミドFRPロッド試験施工, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, Vol.30, pp.639~642, 2021.10

パンフレット・セメントの底力 セメントはわが国の防災インフラ整備を支えています

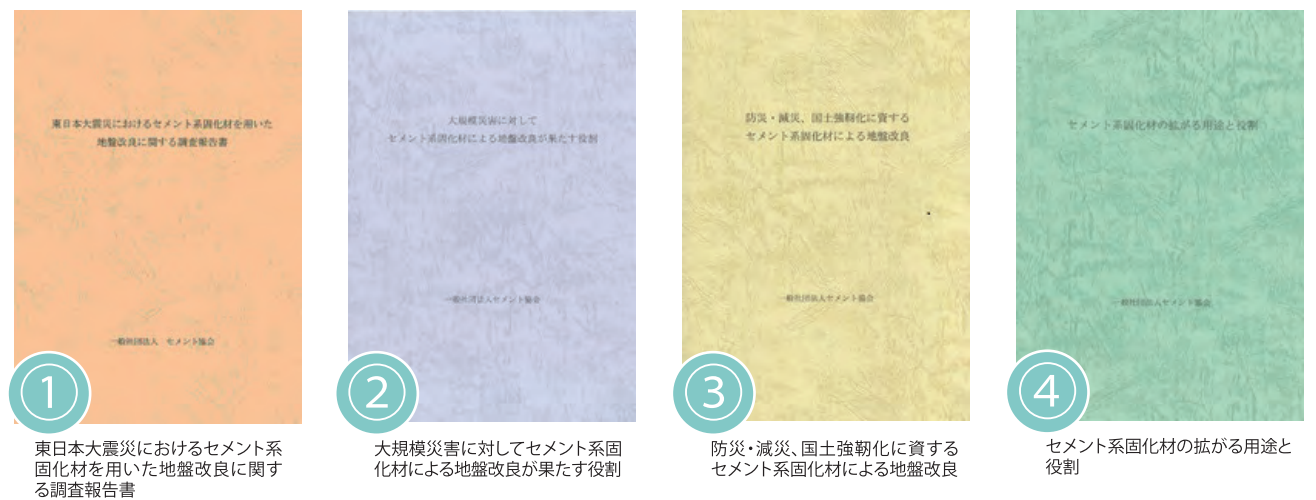
セメント協会は未曾有の被害をもたらした東日本大震災をはじめ、頻発するゲリラ豪雨や竜巻などの自然災害の脅威から、国民の命や生活を守るために必要な措置を施すことが何よりも重要な課題と捉え、防災インフラ整備の重要性を訴えるパンフレット(A4判・16ページ)を作成しました。様々な自然災害時に対し、強固な躯体を持つコンクリート構造物やセメント系固化材が果たした役割や有用性を、①豪雨・渇水に備えるセメント、②津波・高潮に備えるセメント、③土砂災害に備えるセメント、④災害復旧・復興を支えるセメントの項目にわけ、各種の事例を写真と図版でわかりやすく解説しています。このパンフレットにより人々の命や暮らしを守るセメント・コンクリートの力、これから必要となる公共事業についてご理解いただき、より一層安全への意識を高めるための一助としていただきたく作成しました。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。



一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

改良地盤の震災・適用調査報告書 無料ダウンロードできます。

- お知らせ
- ①東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書
 - ②大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割
 - ③防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良
 - ④セメント系固化材の拡がる用途と役割



弊会ホームページ(<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/kokazaihoukou01.html>)から、無料ダウンロードできます。是非ご利用下さい。

一般社団法人セメント協会普及部門 E-mail fukyu@jcassoc.or.jp



高性能コンクリートの収縮および収縮ひび割れ抵抗性 に対するゼオライト添加の影響

Nguyen Cong Thang, ほか

Materials

13[17] 論文 B No.106650(2022)

高強度, 高剛性, 高耐久性を有する高性能コンクリート(HPC)は, 一般的に硬化後の収縮量が大きく, 収縮によるひび割れの発生・進展が懸念される。HPCなどの低水結合材比(W/B)のコンクリートに生じる収縮は, 主に自己乾燥を伴う「自己収縮」によるものである。著者らは, コンクリートの自己収縮を抑制する目的で, 吸水性多孔質材料であるゼオライトを添加する事を提案している。

実験に用いたゼオライトは, 平均粒子径は5.6~16.7 μm とし, セメントに対して5~15質量%内割添加した。試験項目は, 強度発現性, 収縮ひずみおよび収縮ひび割れ抵抗性とした。また, ゼオライト置換率と粒子径を考慮した収縮モデルを構築し, fib2010モデルと比較・考察している。実験の結果, ゼオライトの置換率が約10%までは, コンクリートのワーカビリティと強度発現性の双方に対して良好と判断された。また, ゼオライトの置換率が高く, 粒子径が大きいほど, 硬化体の自己収縮量は低減した。これについて著者は, ゼオライトの添加により, コンクリートの内部相対湿度の低下が抑制されることを実験的に示すことで, 説明している。また, ゼオライト置換率の増加に伴い, 収縮ひび割れの発生時期が遅れることを確認している。

これらの結果をもとに構築した収縮モデルは, ゼオラ

イト置換の有無や粒子径によらず自己収縮ひずみを予測可能であり, fib2010モデルと比較しても精度は良好であると著者は述べている。

石灰石煨焼粘土セメント(LC³)ペーストの長期材齢 (3年間)における微細構造発達

Franco Zunino, ほか

Cement and Concrete Research

153 論文 No.106693(2022)

石灰石煨焼粘土セメント(LC³)は, 普通ポルトランドセメント(OPC)と同等の物性を持つ混合セメントであり, 将来有望な材料として期待されている。LC³に関しては早期材齢の諸性能を評価した研究が多く, 長期材齢の相組成や微細構造に着目した研究は少ない。そこで筆者らは, 煨焼粘土含有量の異なるLC³ペーストの90日及び3年材齢の相組成及び微細構造について調査した。

OPCはCEM I 42.5R, 煨焼粘土は純度95%のメタカオリン(MK), 石灰石(LS)は炭酸カルシウム含有率が98%以上のものを使用し, OPCを55%, MKを6.3~30%, LSを15~38.7%の質量割合で混合してLC³を試製した。供試体は水粉体比を0.4とし, 高性能減水剤を使用して作製の上, 所定材齢まで20℃で封緘養生した。分析の結果, クリンカ鉱物の水和とMKのボゾラン反応は, 水酸化カルシウムが存在しない状況下においても90日から3年の間で進行したが, 反応速度は90日までと比較すると小さかった。また, 90日から3年の間で空隙率が減少したが, この減少はヘミカーボネート(Hc), モノカーボネート(Mc)及びストラトリンジャイト(Str)の生成が支配的な要因であった。なお, Strは, MK含有量15%以上で3年材齢の場合に確認された。HcがMcに変化する際に硫酸イオンが発生し, 90日から3年の間においてもエトリンガイトの増加が認められた。

EVENT GUIDE イベントガイド

第2回 インフラメンテナンス・シンポジウム

開催日: 2023年2月27日(月)・28日(火)
会場: 土木学会講堂およびオンライン
参加費: 無料
定員: (オンライン)1,000名
申込方法: 土木学会HPより申込み
申込締切: 2023年2月23日(木)
問合せ: 土木学会 研究事業課 松沼・飯野
電話: 03-3355-3559

講習会「既設補強コンクリートブロック造建物の耐震性能評価指針」

開催日: 2023年3月14日(火)
会場: 建築会館ホール(東京都港区)およびオンライン
参加費: [会場]会員10,000円, 後援団体会員12,000円, 会員外15,000円
[オンライン]会員10,000円, 後援団体会員12,700円, 会員外15,700円
定員: [会場]80名(申込み先着順)
[オンライン]制限なし
申込方法: 日本建築学会HPより申込み
問合せ: 日本建築学会 講習会「既存補強コンクリートブロック造建物の耐震性能評価指針」係
電話: 03-3456-2057

「基礎構造の設計 学びやすい構造設計」改訂講習会

開催日: 2023年3月15日(水)
会場: 建築会館ホール(東京都港区)およびオンライン
参加費: 会員8,400円, 会員外9,400円※オンライン参加者へテキスト送付代800円別途
定員: [会場]100名(申込み先着順)
[オンライン(Zoom)]400名(申込み先着順)
申込方法: 日本建築学会HPより申込み
問合せ: 日本建築学会
電話: 03-3456-2051

月面建設技術シンポジウム

「宇宙開発における土木の役割」

開催日: 2023年3月16日(木)
会場: オンライン(Zoomウェビナー)
参加費: 無料
定員: [会場]45名 [オンライン]500名
申込方法: 土木学会HPより申込み
申込締切: 2023年3月9日(木)
問合せ: 土木学会 建設用ロボット委員会(担当:丸畑)
メール: maruhata@jsce.or.jp

講習会「コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針2022」東京会場

開催日: 2023年3月20日(月)
会場: ビジョンセンター東京京橋(東京都中央区)
参加費: 会員5,000円, 名誉会員2,500円, 団体会員6,000円, 会員外7,000円, 学生会員2,500円, 学生会員外3,500円
定員: 390名(申込み先着順)
申込方法: 日本コンクリート工学会HPより申込み
申込締切: 2023年3月13日(月)
問合せ: 日本コンクリート工学会「コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針講習会」係(担当:綿貫)
電話: 03-3263-7204

講習会「コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針2022」大阪会場

開催日: 2023年3月27日(月)
会場: グランキューブ大阪(大阪市北区)
参加費: 会員5,000円, 名誉会員2,500円, 団体会員6,000円, 会員外7,000円, 学生会員2,500円, 学生会員外3,500円
定員: 300名(申込み先着順)
申込方法: 日本コンクリート工学会HPより申込み
申込締切: 2023年3月13日(月)
問合せ: 日本コンクリート工学会「コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針講習会」係(担当:綿貫)
電話: 03-3263-7204

お知らせ

J-STAGEで, セメント・コンクリート論文集を無償公開しています

セメント・コンクリート論文集は, セメント技術大会での発表論文に限定することなく, 広く公募した論文の中からセメント・コンクリート論文集編集委員会が厳選した論文を掲載しています。これまで印刷版を刊行してまいりましたが, Vol.68(2014)より, 国立研究開発法人 科学技術振興機構(JST)のJ-STAGE[<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/cement/~char/ja/>]でご覧いただけるようになりました。

お仕事・ご研究にどうぞご活用ください。

名 称	開催期日	開催地	問い合わせ先	電話番号等	本誌掲載号
第8回 初心者にもわかる信頼性工学入門セミナー	2023年 2月20日	オンライン	日本材料学会 「第8回 初心者にもわかる 信頼性工学入門セミナー」係	075-761-5321	12月号 p.56
講習会 「壁式鉄筋コンクリート厚肉床壁構造設計指針」	2023年 2月27日	東京都 および オンライン	日本建築学会 講習会 「壁式RC厚肉床壁構造 設計指針」係	03-3456-2057	12月号 p.56
第2回 インフラメンテナンス・シンポジウム	2023年 2月27日～28日	東京都 および オンライン	土木学会 研究事業課 (松沼・飯野)	03-3355-3559	本号 p.61
2022年度 北海道地区・応用力学フォーラム ～構造モニタリングの研究と動向、将来へのホンネ～	2023年 3月9日	オンライン	土木学会	03-3355-3441	12月号 p.56
講習会 「既存補強コンクリートブロック造建物の耐震性能評価指針」	2023年 3月14日	東京都 および オンライン	日本建築学会 講習会 「既存補強コンクリートブロック 造建物の耐震性能評価指針」係	03-3456-2057	本号 p.61
「コンクリート圧送工法指針2023」発刊講習会	2023年 3月15日	東京都 および オンライン	日本コンクリート工学会 「圧送指針講習会」係 (担当：岡田)	03-3263-7204	1月号 p.54
「基礎構造の設計 学びやすい構造設計」改訂講習会	2023年 3月15日	東京都 および オンライン	日本建築学会関東支部	03-3456-2051	本号 p.61
月面建設技術シンポジウム 「宇宙開発における土木の役割」	2023年 3月16日	東京都 および オンライン	土木学会 建設用ロボット委員会 (担当：丸畑)	maruhata @jsce.or.jp	本号 p.61
講習会 「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針2022」	2023年 3月20日	東京都	日本コンクリート工学会 「コンクリートのひび割れ調査、 補修・補強指針講習会」係 (担当：綿貫)	03-3263-7204	本号 p.61
	2023年 3月27日	大阪府			本号 p.61
第4回 「はじめての破壊力学」講習会 ～破壊を防ぐために～	2023年 3月28日	静岡県	滋賀県立大学 工学部 機械システム工学科 (担当：和泉)	0749-28-8489	1月号 p.54
第77回 セメント技術大会	2023年 5月17日～19日	東京都 および オンライン	(一社)セメント協会 研究所 技術情報グループ	03-3914-2692	本号 p.23
令和5年度 1級・2級舗装施工監理技術者 資格試験／舗装診断士 資格試験	2023年 6月25日	全国10か所	日本道路建設業協会 舗装技術者資格試験委員会 事務局	03-6280-5038	1月号 p.54
第23回コンクリート構造物の 補修、補強、アップグレードシンポジウム	2023年 10月12日～13日	京都市	日本材料学会 「コンクリート構造物の補修、 補強、アップグレード論文 報告集・シンポジウム」係	075-761-5321	本号 p.22

※掲載中の情報は状況により中止・延期の場合がございます。各主催HP等にて最新情報をご確認ください。

セメント協会の動画配信・WEBセミナーのご案内

セミナー・講座名	会場名	土木学会 CPD(単位)
1 DAY PAVE 製造施工マニュアル[第1版]の概要(約26分)	WEB	-
動画で学ぶ断面修復工法の基礎知識(約34分)		-
コンクリート舗装の基礎知識(約33分)		-
セメント系固化材の基礎知識(約45分)		-
セメント系補修・補強材料の基礎知識(約29分)		-
地盤改良に関する試験について(約31分)		0.5

セミナーに関する詳細・お申込みはセメント協会 動画配信サイトをご覧ください ▶▶▶ <https://jcafukyu.jp/>

名 称	開催期日	開催地	問い合わせ先	電話番号等	本誌掲載号
第8回 初心者にもわかる信頼性工学入門セミナー	2023年 2月20日	オンライン	日本材料学会 「第8回 初心者にもわかる 信頼性工学入門セミナー」係	075-761-5321	12月号 p.56
講習会 「壁式鉄筋コンクリート厚肉床壁構造設計指針」	2023年 2月27日	東京都 および オンライン	日本建築学会 講習会 「壁式RC厚肉床壁構造 設計指針」係	03-3456-2057	12月号 p.56
第2回 インフラメンテナンス・シンポジウム	2023年 2月27日～28日	東京都 および オンライン	土木学会 研究事業課 (松沼・飯野)	03-3355-3559	本号 p.61
2022年度 北海道地区・応用力学フォーラム ～構造モニタリングの研究と動向、将来へのホンネ～	2023年 3月9日	オンライン	土木学会	03-3355-3441	12月号 p.56
講習会 「既存補強コンクリートブロック造建物の耐震性能評価指針」	2023年 3月14日	東京都 および オンライン	日本建築学会 講習会 「既存補強コンクリートブロック 造建物の耐震性能評価指針」係	03-3456-2057	本号 p.61
「コンクリート圧送工法指針2023」発刊講習会	2023年 3月15日	東京都 および オンライン	日本コンクリート工学会 「圧送指針講習会」係 (担当：岡田)	03-3263-7204	1月号 p.54
「基礎構造の設計 学びやすい構造設計」改訂講習会	2023年 3月15日	東京都 および オンライン	日本建築学会関東支部	03-3456-2051	本号 p.61
月面建設技術シンポジウム 「宇宙開発における土木の役割」	2023年 3月16日	東京都 および オンライン	土木学会 建設用ロボット委員会 (担当：丸畑)	maruhata @jsce.or.jp	本号 p.61
講習会 「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針2022」	2023年 3月20日	東京都	日本コンクリート工学会 「コンクリートのひび割れ調査、 補修・補強指針講習会」係 (担当：綿貫)	03-3263-7204	本号 p.61
	2023年 3月27日	大阪府			本号 p.61
第4回「はじめての破壊力学」講習会 ～破壊を防ぐために～	2023年 3月28日	静岡県	滋賀県立大学 工学部 機械システム工学科 (担当：和泉)	0749-28-8489	1月号 p.54
第77回 セメント技術大会	2023年 5月17日～19日	東京都 および オンライン	(一社)セメント協会 研究所 技術情報グループ	03-3914-2692	本号 p.23
令和5年度 1級・2級舗装施工監理技術者 資格試験／舗装診断士 資格試験	2023年 6月25日	全国10か所	日本道路建設業協会 舗装技術者資格試験委員会 事務局	03-6280-5038	1月号 p.54
第23回コンクリート構造物の 補修、補強、アップグレードシンポジウム	2023年 10月12日～13日	京都市	日本材料学会 「コンクリート構造物の補修、 補強、アップグレード論文 報告集・シンポジウム」係	075-761-5321	本号 p.22

※掲載中の情報は状況により中止・延期の場合がございます。各主催HP等にて最新情報をご確認ください。

セメント協会の動画配信・WEBセミナーのご案内

セミナー・講座名	会場名	土木学会 CPD(単位)
1 DAY PAVE 製造施工マニュアル[第1版]の概要(約26分)	WEB	-
動画で学ぶ断面修復工法の基礎知識(約34分)		-
コンクリート舗装の基礎知識(約33分)		-
セメント系固化材の基礎知識(約45分)		-
セメント系補修・補強材料の基礎知識(約29分)		-
地盤改良に関する試験について(約31分)		0.5

セミナーに関する詳細・お申込みはセメント協会 動画配信サイトをご覧ください ▶▶▶ <https://jcafukyu.jp/>

セメント・データファイル

生 産

項目		22年		22年	
		10月	前年比	11月	前年比
ポルトランドセメント	普通	2,932	98.8	2,879	97.6
	早強・超早強	255	96	239	89.2
	中庸熟	88	158.7	81	97.4
	低熟	13	71.9	22	163.2
	耐硫酸塩	0	-	0	-
	その他	0	-	0	-
	小計	3,289	99.5	3,220	97.2
混合セメント	高炉	915	86.5	901	103
	シリカ	0	-	0	-
	フライアッシュ	4	90.9	2	107.6
	その他	75	88.3	72	79.3
	小計	994	86.6	976	100.8
その他のセメント		14	93.3	9	119
計		4,297	96.1	4,205	98
輸出用クリンカ等		380	60	299	80.7
合計		4,676	91.7	4,504	96.7

販 売

地区		22年			22年		
		10月	前年比	構成比	11月	前年比	構成比
北海道	186	92.2	5.5	169	99.1	5.0	
東北	303	97.8	9.0	278	94.3	8.2	
関東一	754	93.6	22.5	770	99.1	22.7	
関東二	323	101.3	9.6	333	100.7	9.8	
北陸	145	89.2	4.3	147	90.9	4.3	
東海	396	99.2	11.8	408	99.1	12.0	
近畿	464	97.9	13.8	483	100.1	14.2	
四国	113	91.2	3.4	121	99.0	3.5	
中国	194	92.7	5.8	198	93.1	5.8	
九州	413	98.8	12.3	424	102.6	12.5	
沖縄	66	100.8	2.0	68	97.1	2.0	
計	3,357	96.3	100.0	3,399	98.6	100.0	

需 給

項 目		生 産		販 売						期末在庫		輸 入		内 需		固化材 原料他
			前年比	国 内	前年比	輸 出	前年比	合 計	前年比		前年比		前年比		前年比	
会 計 年 度	2012	59,488	103.3	43,754	104.4	9,632	96.3	53,387	102.8	4,140	98.3	822	111.4	44,577	104.5	6,173
	2013	62,392	104.9	46,953	107.3	8,503	88.3	55,455	103.9	4,412	106.6	752	91.4	47,705	107.0	6,665
	2014	61,139	98.0	45,048	95.9	9,421	110.8	54,469	98.2	4,580	103.8	503	66.8	45,551	95.5	6,502
	2015	59,238	96.9	42,347	94.0	10,583	112.3	52,930	97.2	4,684	102.3	320	63.7	42,668	93.7	6,204
	2016	59,271	100.1	41,497	98.0	11,529	108.9	53,027	100.2	4,393	93.8	280	87.4	41,777	97.9	6,536
	2017	60,360	101.8	41,701	100.5	11,808	102.4	53,508	100.9	4,189	95.4	175	62.6	41,876	100.2	7,056
	2018	60,230	99.8	42,499	101.9	10,371	87.8	52,870	98.8	4,446	106.1	91	51.8	42,589	101.7	7,103
	2019	58,135	96.5	40,948	96.4	10,532	101.6	51,480	97.4	4,492	101.0	22	24.6	40,970	96.2	6,609
	2020	56,053	96.4	38,650	94.4	11,113	105.5	49,763	96.7	4,332	96.4	20	90.0	38,670	94.4	6,450
	2021	55,741	99.4	37,872	98.0	11,484	103.3	49,356	99.2	4,347	100.3	10	52.0	37,882	98.0	6,371

※千t以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

輸 出

地域・仕向地		22年	22年
		10月	11月
アジア	韓国	30	32
	中国	0	0
	台湾	27	27
	香港	137	65
	フィリピン	51	100
	シンガポール	119	116
	マレーシア	27	0
小計		391	340
その他	大洋州	281	214
	中南米	0	0
	小計	281	214
合計		672	554

セメントハンドブック 2022年度版

インターネットからご覧下さい

わが国セメント産業のデータ集「セメントハンドブック」は、2018年度版より電子書籍化して公開しております。企業概要・需給状況・流通・原料・エネルギー・生産性・関連製品・市況・世界のセメント需給・関連経済指標と多岐にわたり掲載。業界人必須の一冊をお手元の端末で、いつでもどこからでも閲覧可能です。

セメントハンドブック2022年度版
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jj3h_06.pdf

セメント協会HPはこちら
<https://www.jcassoc.or.jp/>

※本書籍の閲覧およびダウンロードのご利用は無料ですが、別途通信料が発生いたします。

年月	建設工事受注動態統計(出所:国土交通省)							(単位:億円)
	合計	国	独立行政法人	政府企業	都道府県	市区町村	その他	
2020年度	213,794	46,422	6,039	26,182	56,847	60,006	5,490	
2021	200,576	37,859	4,863	27,757	55,153	55,820	5,717	
2021年11月	12,176	1,630	285	1,498	3,505	3,738	579	
12	12,910	1,721	269	2,200	3,803	3,674	456	
2022年1月	9,739	1,976	235	1,905	2,970	1,838	141	
2	11,513	3,388	253	1,744	2,934	2,048	552	
3	34,541	10,188	989	4,423	10,489	5,890	655	
4	13,561	3,979	279	2,292	3,043	2,333	341	
5	10,892	1,552	382	1,165	1,811	4,484	880	
6	20,290	2,684	420	2,103	3,976	8,783	721	
7	16,770	2,748	281	1,042	4,762	6,543	238	
8	17,167	2,753	302	1,235	5,671	5,744	532	
9	24,272	5,104	541	2,332	6,897	7,595	499	
10	17,406	2,195	627	1,679	6,564	5,028	321	
11	13,077	1,665	607	1,475	4,773	3,412	370	

年月	着工建築物 構造別 床面積の合計(出所:国土交通省)								(単位:万㎡)	
	合計	構造別						用途別		
		木造	鉄骨鉄筋コン クリート造	鉄筋コンクリ ート造	鉄骨造	コンクリートブ ロック造	その他	居住用	非居住用	
2020年度	11,430	4,978	189	2,157	4,027	6	73	6,938	4,492	
2021	12,246	5,280	197	2,129	4,558	6	78	7,440	4,806	
2021年11月	1,012	467	14	175	346	0.7	9	638	374	
12	1,066	430	36	163	427	0.5	3	591	475	
2022年1月	862	349	14	127	348	0.3	4	538	324	
2	922	370	23	192	331	0.5	5	551	371	
3	979	403	10	206	351	0.5	7	616	363	
4	1,127	417	29	268	403	0.4	7	640	486	
5	970	411	30	180	341	0.6	8	578	392	
6	1,105	446	13	213	425	0.5	7	626	479	
7	1,125	438	25	218	435	0.6	8	627	498	
8	1,042	437	13	232	350	0.5	9	645	397	
9	968	437	7	193	322	0.6	8	610	358	
10	990	433	21	181	345	0.6	9	630	360	
11	957	425	16	158	346	0.6	12	606	351	

※単位は万㎡以下を四捨五入したため、必ずしも合計に合致しない

年月	建設工事受注動態統計(大手50社)(出所:国土交通省)								(単位:億円)
	総計	民間		公共機関		建築	土木	大規模工事	未消化工事高 (月末)
		計	製造業	計	国の機関				
2020年度	148,811	100,964	19,924	39,055	27,079	96,084	52,727	90,630	191,713
2021	150,979	109,267	24,237	33,500	21,885	103,889	47,090	100,146	202,497
2021年11月	10,676	7,495	2,213	2,269	1,498	6,782	3,894	6,496	191,232
12	16,210	12,570	2,335	2,840	1,718	12,316	3,892	9,003	192,900
2022年1月	11,660	7,955	1,408	2,892	1,952	8,014	3,641	8,180	194,534
2	12,152	9,464	2,400	2,280	1,700	8,766	3,387	8,875	193,576
3	28,665	21,001	4,095	6,090	4,030	18,978	9,687	21,341	202,497
4	9,462	6,623	2,182	2,268	1,578	6,347	3,114	6,028	201,690
5	8,930	6,695	2,012	1,038	754	6,290	2,640	5,317	201,369
6	15,741	11,290	3,251	2,525	1,676	11,414	4,327	9,697	202,288
7	9,176	8,716	2,073	1,839	991	6,310	2,865	5,351	202,222
8	10,334	10,115	3,261	1,451	1,146	7,711	2,624	6,649	202,166
9	21,617	19,565	3,925	5,298	4,177	13,970	7,647	15,040	208,186
10	10,520	10,170	1,341	2,426	1,311	7,400	3,120	6,998	208,774
11	9,636	9,354	1,908	2,121	1,590	6,736	2,900	5,906	-

※受注高10億円以上の国内工事のみを対象

年月	企業物価指数(出所:日本銀行)										(2020年平均＝100)
	総平均	セメント	生コンクリート	セメント製品	製材	砂利・採石	形鋼	小形棒鋼	金属製品	建設・鉱山機 械	
2020年平均(C.Y.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
2020年度平均(F.Y.)	99.8	100.1	100.2	100.5	100.2	101.7	101.2	100.7	100	100.3	
2021年11月	108.2	100.5	102.3	102.2	169.9	103	137.4	133.7	104.5	99.5	
12	108.4	100.5	102.6	102.3	169.5	103	138.5	136.6	105	99.5	
2022年1月	109.3	100.5	102.9	103	165.1	103	139.7	138	106.2	101.6	
2	110.3	100.5	103.5	103.6	164.5	103.2	140.2	140	106.7	102	
3	111.4	101.7	103.6	103.5	164.7	103.2	142.6	145.2	107.5	101.6	
4	113.3	106.6	103.7	103.7	167.6	104.6	150.4	148.9	108.5	101	
5	113.3	108.8	105	104.7	168.1	106.3	155.1	153.9	109.5	101.8	
6	114.3	110.8	106	106.2	166.8	107.3	157.1	158.3	111.2	103.6	
7	115.2	110.8	107	107.7	165.8	107.3	159.4	159.8	114	104.4	
8	115.7	111.1	108.5	108.4	163.8	107.7	160.3	160.6	114.6	105	
9	116.9	114.9	111.8	109.9	160.8	107.9	160.4	161.9	115.5	105.6	
10	118	118.1	114.5	111.8	154.7	109.8	160.4	159.7	117.3	106	
11	118.9	120.4	115.2	113	153.8	109.8	159.9	161.8	118.1	106.2	
12	119.5	120.4	115.2	113.5	152.7	109.8	159.9	161.4	118.4	106	

※企業物価指数が2020年基準に変更

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅰ(出所:経済産業省)					
		遠心力鉄筋コンクリート製品			空洞 コンクリートブロック (千個)	護岸用 コンクリートブロック (t)	道路用 コンクリート製品 (t)
		管 (t)	ボール (t)	パイプ (t)			
2019年12月		13,338	38,389	92,699	5,748	56,943	227,056
2020年12月		12,208	37,450	118,215	5,922	60,604	223,770
2021年11月		12,691	42,554	108,094	5,708	47,180	196,659
12		9,887	37,243	104,406	5,351	54,364	185,559
2022年1月		11,706	34,446	98,983	4,091	55,355	165,266
2		10,378	31,936	123,327	5,000	59,450	176,941
3		10,307	33,000	149,572	5,431	47,976	162,267
4		8,489	30,480	139,768	5,963	40,209	141,401
5		7,330	28,302	115,727	5,116	34,545	123,967
6		10,485	32,237	124,415	5,506	30,521	145,665
7		8,408	31,271	115,814	5,138	31,719	138,948
8		7,645	30,995	112,248	4,769	26,945	132,354
9		9,466	32,253	125,194	5,214	25,124	146,645
10		10,737	33,214	132,971	5,338	36,892	158,515
11		12,286	34,069	123,269	5,527	38,818	176,626

年月	品目	主要セメント製品出荷高Ⅱ(出所:経済産業省)			
		PC製品		木毛・木片・セメント板 (千枚)	気泡コンクリート製品 (㎡)
		はり・けた (t)	その他 (t)		
2019年12月		16,472	42,837	2,337	127,687
2020年12月		17,054	55,845	2,740	110,898
2021年11月		14,667	45,639	2,847	115,458
12		15,948	54,642	2,595	118,751
2022年1月		8,771	46,513	2,315	96,860
2		15,218	47,744	2,474	91,643
3		20,647	61,261	2,758	103,188
4		15,969	55,963	2,527	98,544
5		14,242	45,414	2,338	91,205
6		16,974	54,503	2,695	107,363
7		13,715	46,576	2,593	103,755
8		12,514	40,051	2,538	100,701
9		13,587	46,760	2,648	112,161
10		11,788	37,198	2,422	117,669
11		8,850	34,255	2,588	117,623

顧問

長瀧 重義 東京工業大学 名誉教授

委員長

小堺 規行 住友大阪セメント(株) 執行役員 セメント・コンクリート研究所長

委員

石橋 忠良 J R東日本コンサルタンツ(株) 技術統括

伊藤 康司 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長

内田 俊一郎 太平洋セメント(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究部 副部長

上村 豊 デンカ(株) エラストマー・インフラソリューション部門 セメント部技術課長

河村 直彦 (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会((株)ピーエス三菱)

岸 利治 東京大学 生産技術研究所 教授

黒岩 秀介 大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 部長(研究担当)

黒田 泰弘 清水建設(株) 技術研究所 構造・生産技術センター 主席研究員

古賀 裕久 (国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員

小林 竜平 竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部 コンクリートグループ マネージャー

坂井 悦郎 東京工業大学 名誉教授

坂井 吾郎 鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員

棚野 博之 (国研)建築研究所 材料研究グループ シニアフェロー

流 龍成 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究企画グループ グループリーダー

野口 貴文 東京大学 大学院 工学系研究科 教授

平田 隆祥 (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 上級主席技師

平本 真也 日鉄高炉セメント(株) 技術開発センター 技術開発グループ グループリーダー

前田 禎夫 麻生セメント(株) 品質技術部 部長

森川 嘉之 (国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長

山路 徹 (国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長

弓削 祐夫 UBE三菱セメント(株) 技術戦略部 部長

窪木 康雄 (一社)セメント協会 セメント系固化材普及専門委員会 委員長

吉田 雅彦 (一社)セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会 委員長

大石 英男 (一社)セメント協会 生産・環境幹事会 幹事

廣川 誠一 (一社)セメント協会 常務理事

中山 英明 (一社)セメント協会 研究所長

編集委員会の動き

本誌の編集企画にご尽力いただいた、小西正芳委員(住友大阪セメント)は1月号をもって退任されました。ここにこれまでのご支援・ご尽力に感謝の意を表します。

なお、本号より後任として流 龍成氏が就任されました。

一般社団法人 セメント協会加盟会社

八 戸 セ メ ン ト (株)	敦 賀 セ メ ン ト (株)
日 鉄 高 炉 セ メ ン ト (株)	(株) デ イ ・ シ イ
日 鉄 セ メ ン ト (株)	デ ン カ (株)
東 ソ ー (株)	麻 生 セ メ ン ト (株)
(株) ト ク ヤ マ	U B E 三 菱 セ メ ン ト (株)
琉 球 セ メ ン ト (株)	明 星 セ メ ン ト (株)
荻 田 セ メ ン ト (株)	日 立 セ メ ン ト (株)
太 平 洋 セ メ ン ト (株)	住 友 大 阪 セ メ ン ト (株)

○日本建築学会「JASS 5」改定の概要

○2022年福島県沖地震とコンクリート構造物

○環境負荷低減性が期待されるジオポリマーの可能性

○アルカリシリカ反応抑制技術の検討

○バイオ炭を混和した汎用的な環境配慮型コンクリートの開発

○熱力学的相平衡計算を用いたセメントマトリックス組成の推定

○特殊パラフィンエマルジョンを使用したコンクリートの適用事例

○シリーズ／セメント系固化材 その特性と広がる可能性②

セメント改良土の基本的特性

○シリーズ／セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード

CO₂の利用～再生骨材の炭酸化・炭酸化技術による低品質

再生骨材の改質～

○ずいそう(高井義信) ほか



東名阪自動車道 弥富高架橋(下り線)における床版取替工事

セメント・コンクリート No.912 2月号
2023(令和5)年2月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

発行者 乾 敏一
編集者 藤原 恵美／古屋 祐介
発行所 一般社団法人 セメント協会
〒104-0041 東京都中央区新富2-15-5
RBM築地ビル2階
電話 03-5540-6171 (代表)
03-5540-6175 (広報部門 / 出版担当)
03-5540-6173 (図書販売)
FAX 03-5540-6181
研究所 〒114-0003 東京都北区豊島4-17-33
電話 03-3914-2691 (代表)
FAX 03-3914-2690

○予約購読のご案内／予約購読をご希望の方は1年分 11,000円(税込み/送料当協会負担)を「振替」または「現金書留」で直接当協会にお申込み下さい。

○本誌への広告申込みはセメント協会広報部門/出版担当 ☎ 03-5540-6175へ

○セメント協会加盟会社の購読料は会費に含まれます。

本誌へのご意見、ご感想、ご要望、送付先の変更などは、セメント協会ホームページまたは出版担当直通までEメールでお寄せください。

メールアドレス(出版担当)

cemecon@jcassoc.or.jp

ホームページ

https://www.jcassoc.or.jp

セメント協会ホームページ



神殿？ いいえ、防災施設です。

埼玉県春日部市の地下50メートルに現れた巨大神殿。

これは「首都圏外郭放水路」という防災施設で、
同県東部の浸水被害を軽減し、首都圏の安全を
守るためにつくられた世界最大級の地下放水路です。

こうした防災インフラに欠かせない素材がセメント。

もしものときも防災機能が発揮されるよう、
セメントの強さで施設そのものを守っています。

セメントが、日本をまもる。

一般社団法人セメント協会

セメント協会

検索