

スリップフォーム工法用舗装コンクリートの 配合選定に関する技術資料

2023 年 1 月

一般社団法人セメント協会
舗装技術専門委員会

序

スリップフォーム工法は、成型機に鋼製型枠（モールド）を取り付けモールド内にコンクリートを投入し、その内部で締固めおよび成型を行うと同時に、成型機を前進させることにより同一断面の構造物を連続的に構築するコンクリート連続打設工法である。スリップフォーム工法によるコンクリート舗装は、型枠の設置・撤去作業が不要なことによる省力化・省人化、施工速度が速いことによる工期の短縮、工程の省略化や作業時間の短縮によるコストダウン、センサーラインやトータルステーション、GPSなどを用いて施工管理を行うことで施工精度の向上を図ることができるなどの理由から、工事規模が大きい連続鉄筋コンクリート舗装および普通コンクリート舗装へ適用することにより優位性が得られ、国道や高速道路の施工事例が増加している。

しかし、スリップフォーム工法用舗装コンクリートの仕様は、国土交通省や高速道路株式会社各社ではスランプと空気量が規定されているだけである。このため現場によっては、いわゆる肩だれや、コンクリート版端部の盛り上がりなどの現象が生じ、横断方向平坦性の欠如が散見される。また肩だれを防ぐために当て木を行うことも行われているが、このため余分な人員および材料を必要としている現状もある。

こうした現状を踏まえてスリップフォーム工法用舗装コンクリートのフレッシュ性状を評価するための様々な試験方法が提案されているが、これらを用いた具体的な配合選定手順は定められていない。

本技術資料では、スリップフォーム工法用舗装コンクリートに求められる変形抵抗性をある程度把握できる方法として、テーブルフロー試験の有効性を見出し、得られた知見を基に、スリップフォーム工法用舗装コンクリートの配合選定手順案を提案した。

本技術資料が今後、スリップフォーム工法用舗装コンクリートの安定的な供給の一助になると幸いである。

2023 年 1 月
一般社団法人セメント協会
舗装技術専門委員会
委員長 小梁川 雅

舗装技術専門委員会（2023 年 1 月現在）

委員長	小梁川 雅	東京農業大学
副委員長	玉滝 浩司	UBE 三菱セメント株式会社
委 員	西澤 辰男	石川工業高等専門学校名誉教授
〃	上野 敦	東京都立大学
〃	前島 拓	日本大学
〃	古賀 裕久	国立研究開発法人土木研究所
〃	藪 雅行	国立研究開発法人土木研究所
〃	松本大二郎	株式会社高速道路総合技術研究所
〃	弓木 宏之	日本道路株式会社
〃	村岡 克明	株式会社N I P P O
〃	児玉 孝喜	鹿島道路株式会社
〃	五島 泰宏	大成ロテック株式会社
〃	小関 裕二	大林道路株式会社
〃	坂本 寿信	株式会社佐藤渡辺
〃	永渕 克己	世紀東急工業株式会社
〃	入江 一次	全国生コンクリート工業組合連合会
〃	了道 久	日鉄セメント株式会社
〃	新見 龍男	株式会社トクヤマ
〃	岸良 竜	太平洋セメント株式会社
〃	安久 憲一	住友大阪セメント株式会社
〃	廣川 誠一	一般社団法人セメント協会
事務局	中山 英明	一般社団法人セメント協会
〃	吉本 徹	一般社団法人セメント協会
〃	野田 悦郎	一般社団法人セメント協会
〃	佐々木健一	一般社団法人セメント協会
〃	泉尾 英文	一般社団法人セメント協会

（敬称略）

舗装技術専門委員会 配合WG（2022年3月活動終了）

WGリーダー	梶尾 聡	太平洋セメント株式会社
委員	西澤 辰男	石川工業高等専門学校
〃	小梁川 雅	東京農業大学
〃	弓木 宏之	日本道路株式会社
〃	児玉 孝喜	鹿島道路株式会社
〃	五島 泰宏	大成ロテック株式会社
〃	藤井 秀夫	大林道路株式会社
〃	永渕 克己	世紀東急工業株式会社
〃	山之内康一郎	全国生コンクリート工業組合連合会
〃	森田 浩一郎	三菱マテリアル株式会社
〃	安久 憲一	住友大阪セメント株式会社
旧委員	松本 健一	国立研究開発法人土木研究所
〃	寺田 剛	国立研究開発法人土木研究所
〃	内田 雅隆	国立研究開発法人土木研究所
〃	綾部 孝之	国立研究開発法人土木研究所
〃	栗塚 一範	東京都土木技術支援・人材育成センター
〃	鈴木 徹	大林道路株式会社
〃	中里 剛	三菱マテリアル株式会社
〃	高山 和久	住友大阪セメント株式会社
〃	青木 真材	住友大阪セメント株式会社
事務局	野田 悦郎	一般社団法人セメント協会
〃	瀧波 勇人	一般社団法人セメント協会
旧事務局	佐藤 智泰	一般社団法人セメント協会
〃	島崎 泰	一般社団法人セメント協会
〃	佐々木健一	一般社団法人セメント協会

（敬称略）

目次

1	概要	1
1.1	本資料の目的	1
1.2	SF 工法とは	1
1.3	スリップフォームペーバ	1
1.4	SF 工法に求められるコンクリートの性状	3
1.5	SF 工法用コンクリートの配合	4
1.6	配合上の留意点（CRCP において）	6
2	コンクリートの配合と変形抵抗性	7
2.1	概説	7
2.2	テーブルフロー試験	9
2.3	テーブルフロー試験手順	9
2.4	変形抵抗性への単位セメント量の影響	11
2.5	s/a の変形抵抗性への影響	13
3	配合選定手順案	14
3.1	概説	14
3.2	舗装用コンクリートの出荷実績がある場合の選定フロー	14
3.3	舗装用コンクリートの出荷実績のない場合の選定フロー	16
3.4	配合試験例	18
4	まとめ	22
	参考文献	22

1 概要

1.1 本資料の目的

コンクリート舗装に使用するスリップフォーム工法（以下 SF 工法）用コンクリートのフレッシュ性状は、国土交通省や東日本高速道路（株）・中日本高速道路（株）・西日本高速道路（株）（以下、NEXCO）の仕様書ではスランプと空気量が規定されている。

しかし、実際の配合選定においてはスランプと空気量だけでは SF 工法に適した配合を選定することが困難であると言われており、追加の評価指標が必要とされている。

一方近年、SF 工法用コンクリートのフレッシュ性状評価のための様々な試験方法が提案されているが、これらを用いた具体的な配合選定手順は定められていないようである。

そこで、セメント協会舗装技術専門委員会では、提案されている SF 工法用コンクリートのフレッシュ性状評価試験方法の評価を行うとともに、SF 工法用コンクリートの配合選定手順案を作成した。本技術資料は、試験検討内容および配合選定手順案について報告するものである。

1.2 SF 工法とは

SF 工法とは、スリップフォーム成型機を用いて、等断面で連続した無鉄筋または鉄筋コンクリート構造物を施工する工法である。SF 工法はコンクリートを締め固め、脱型を連続的に行うため、脱型後のコンクリートはまだ柔らかい状態である。また、コンクリート舗装の施工に用いられるスリップフォーム成型機を特にスリップフォームペーバと呼ぶ。

1.3 スリップフォームペーバ

スリップフォームペーバとは、スリップフォーム成型機の中でも、コンクリート舗装の舗設に用いられる成型機（写真 1-1、写真 1-2）である。型枠を設置しないでコンクリート舗装版を連続的に舗設する自走式の機械であり、敷きならし、締め固め、表面仕上げ等の機能を持つ。荷卸しされたコンクリートを敷きならすスプレッド機構、コンクリートを締め固める締め固め機構、コンクリートを所定の形状に成形する成形モールド機構、コンクリートを平たんに均すレベラー機構、走行装置で構成されている（図 1-1、図 1-2）。



（日本スリップフォーム工法協会ホームページより引用）

写真 1-1 スリップフォームペーバでの施工状況



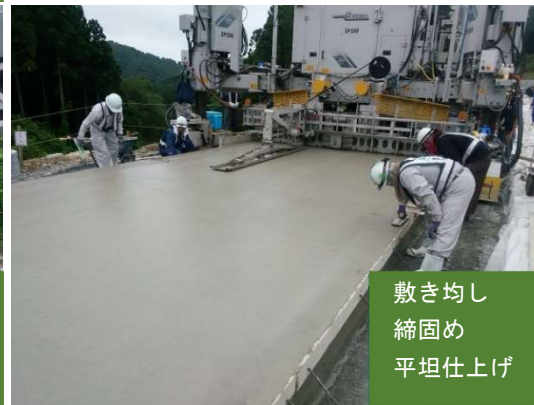
鉄筋組立状況



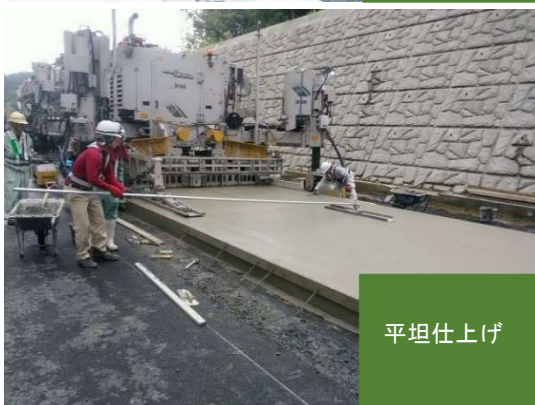
材料供給状況



敷き均し
締固め
平坦仕上げ



敷き均し
締固め
平坦仕上げ



平坦仕上げ



粗面仕上げ

写真 1-2 スリップフォームペーパでの施工状況

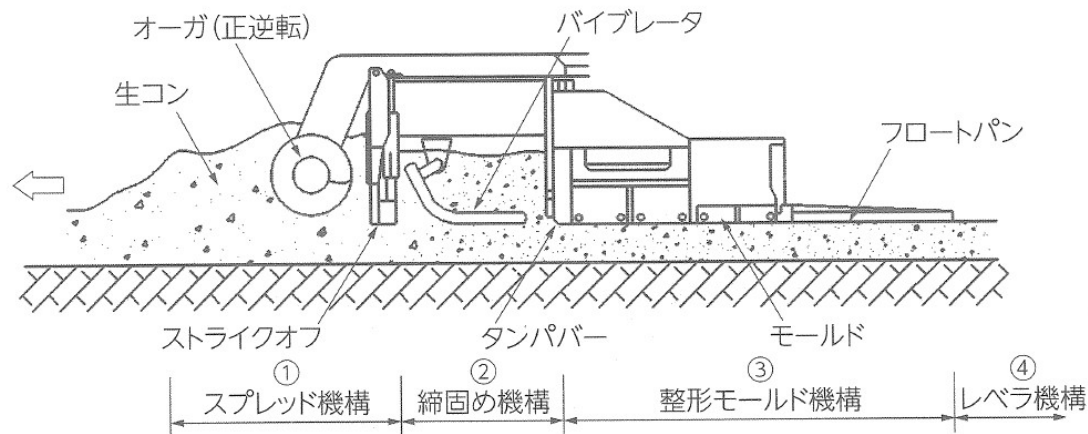


図 1-1 スリップフォームペーバの機構例¹⁾

(舗装技術者のための建設機械の知識 (建設図書) より引用)

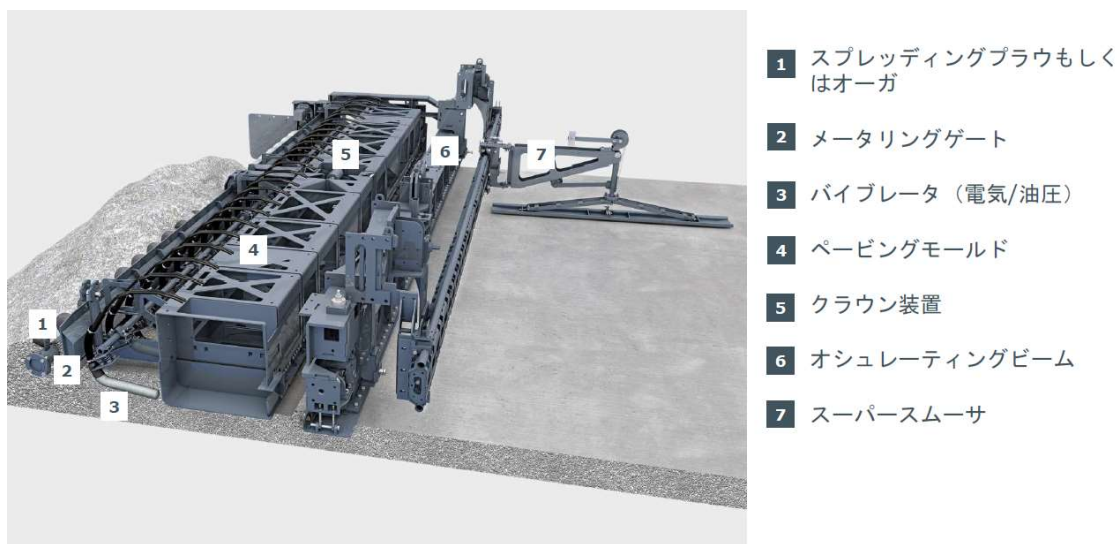


図 1-2 スリップフォームペーバのモールド構造図 (WIRTGEN 社製)

1.4 SF 工法に求められるコンクリートの性状

SF 工法で用いられるコンクリートには、一般的な舗装用コンクリートに必要とされる締固め性や仕上げ性、硬化後の耐久性だけでなく、打込み後すぐに脱型されるため変形抵抗性が求められる。特に重要なのがエッジスランプである (写真 1-3)。

コンクリート舗装を SF 工法で施工すると端部 (エッジ) に下がり (スランプ) が発生することがあり、これをエッジスランプと呼ぶ。エッジスランプが発生すると版厚が薄くなったり、平坦性が低下するなどの影響がある。スリップフォームペーバの中にはエッジスランプを見込んで舗装端部のモールドを反り上げて成型する機能 (図 1-3) を持つものもあるが、コンクリートのフレッシュ性状としてエッジスランプが発生しにくい (変形抵抗性が高い) 方が望ましい。よって、SF 工法用コンクリートは一般的な舗装用コンクリートに求められる締固め性や仕上げ性、これらに加えて変形抵抗性を併せ持つことが求められる。

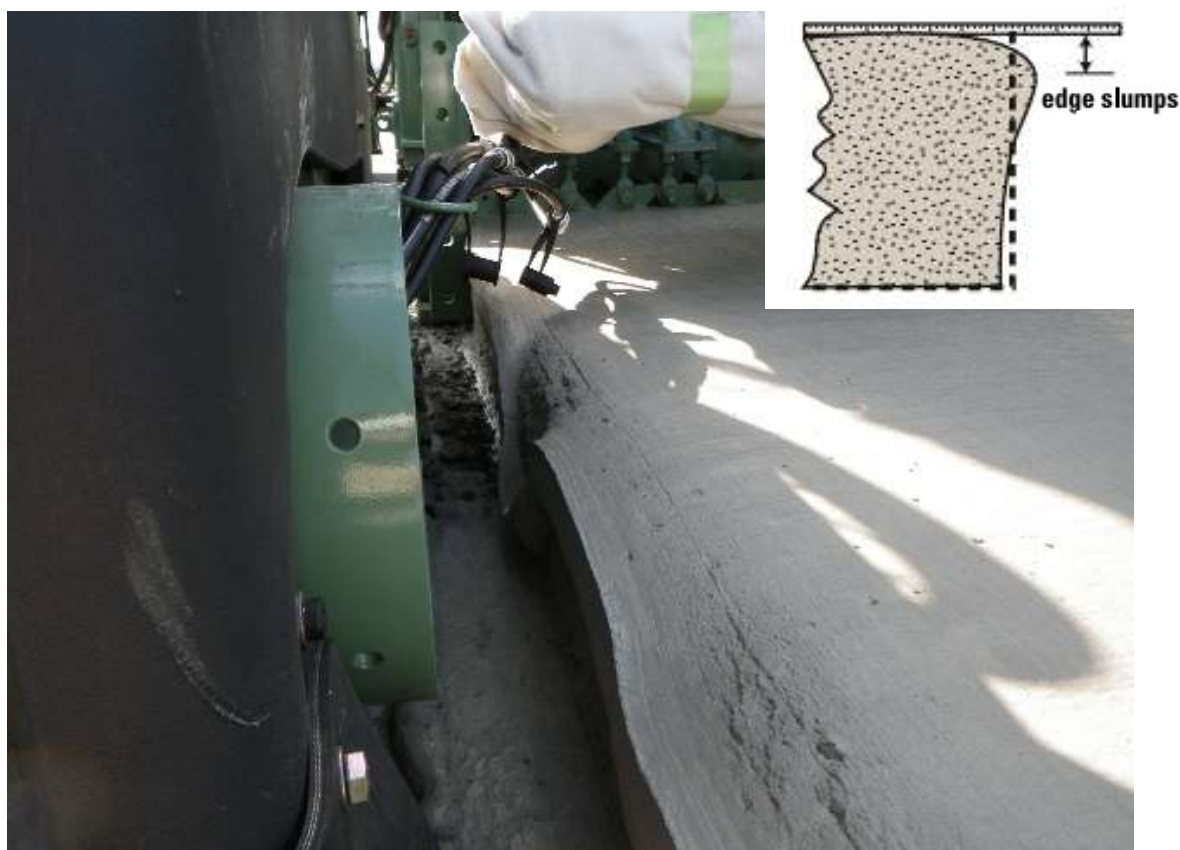


写真 1-3 エッジスランプの様子



図 1-3 スリップフォームペーバによるエッジスランプ調整機構例²⁾

(舗装技術者のための建設機械の知識 (建設図書) より引用)

1.5 SF 工法用コンクリートの配合

SF 工法用コンクリートの配合は先述の通り、国土交通省や NEXCO で仕様が定められており、スランプが国土交通省で 4.0cm、NEXCO で 3.5cm、空気量は 5.5%とすることが一般的とされている。よって、この値を担保しつつ良好な締固め性や仕上げ性、変形抵抗性が得られる配合を選定する必要がある。

SF 工法用コンクリートの配合実績のアンケート結果を表 1-1、表 1-2 に示す。普通コン

クリート舗装（以下 NC）、と連続鉄筋コンクリート舗装（以下 CRCP）の場合で分けており、両社で明確な違いは少なく、W/C や s/a は現場によって大きく異なっており、使用材料や施工機械に応じて選定する必要がある。

表 1-1 普通コンクリート舗装における配合実績

セメント 種類	目標 スランプ	目標 空気量	W/C	s/a	単位量			
					W	C	S	G
	(cm)	(%)	(%)	(%)	(kg/m ³)			
N	3.5	5.0	43.0	35.0	135	338	651	1201
N	4.0	5.5	40.0	35.8	132	330	660	1220
N	4.0	5.0	46.0	40.4	140	304	747	1100
BB	2.5	4.5	41.0	41.5	130	317	784	1137
BB	6.5	4.5	41.0	39.5	141	344	731	1137
BB	2.5	4.5	41.0	35.0	140	324	640	1236
BB	6.5	4.5	41.0	34.4	149	364	614	1220
BB	4.0	5.5	46.0	36.0	137	298	660	1236
BB	4.0	4.5	37.2	33.0	133	358	596	1241
BB	4.0	4.5	37.0	33.1	144	390	586	1202
BB	4.0	4.5	38.0	38.0	144	379	679	1114
BB	3~5	5.5	38.5	36.2	146	380	630	1152

表 1-2 連続鉄筋コンクリート舗装における配合実績

セメント 種類	目標 スランプ	目標 空気量	W/C	s/a	単位量			
					W	C	S	G
	(cm)	(%)	(%)	(%)	(kg/m ³)			
N	5.5	5.5	49.2	42.4	146	294	780	1096
N	3.5	5.5	41.0	35.2	139	339	635	1175
N	3.5	5.5	44.0	36.5	139	316	681	1174
N	4.0	4.0	48.4	37.1	150	310	684	1184
N	2.5~4.5	5.5	38.0	37.9	132	346	684	1127
N	3.5	6.0	44.0	36.0	143	325	548	1189
N	2.0~5.0	5.5	47.0	41.6	150	319	749	1085
BB	3.5	5.5	47.9	47.7	147	307	876	978
BB	3.5	5.5	43.3	40.8	144	333	736	1080
BB	3.5	5.5	46.0	40.0	140	304	728	1109
BB	4.0	5.5	40.5	36.0	148	365	622	1173
BB	6.5	6.5	44.2	40.9	151	341	726	1064
BB	6.5	6.0	43.0	39.0	142	330	705	1117
BB	6.5	6.0	42.9	42.0	151	352	741	1038
BB	3.5	5.5	42.1	35.0	133	316	637	1206
BB	3.5	5.5	41.9	31.3	130	310	580	1382
BB	5.5	6.0	45.0	34.0	135	300	624	1219
BB	4.0	5.5	41.9	36.0	148	353	630	1186
BB	6.5	6.0	42.9	42.0	137	326	814	1075
BB	3.5	4.5	41.5	37.0	150	361	654	1135

1.6 配合上の留意点（CRCP において）

コンクリート舗装は、一般的にコンクリートの強度（一般に曲げ強度）が高いほど高耐久であると言われているが、CRCP においては異なる側面がある。

CRCP は日本語で連続鉄筋コンクリート舗装といわれているが、鉄筋コンクリート(RC)ではなく、縦断方向に入れられた鉄筋は、ひび割れの分散およびひび割れ幅の制御を目的としている。コンクリートは打込み後収縮するため、それを吸収するために目地が設けられる。目地を一定間隔で設けた舗装が NC である。CRCP は縦断方向の鉄筋および路盤の拘束により収縮ひび割れを自然に分散して発生させ、鉄筋によりひび割れ幅を 0.3mm 程度以下に制御することで雨水の侵入を防いでいる。ひび割れ幅に影響する要因として、鉄筋位置、コンクリートの収缩量、打込み時の温度やその後の温度変化、コンクリート強度がある。コンクリート強度が高いほどひび割れ幅が広くなる傾向となるため、ひび割れ断面での鉄筋応力は増大し、鉄筋降伏や場合によっては鉄筋の破断につながる場合がある。このようなことからコンクリートの強度は、設計基準強度を大きく上回ってはならない。



(写真は 0.2mm 程度)

写真 1-4 CRCP に発生したひび割れ（0.3mm 以下に制御）



(写真は 0.5mm 程度)



(写真は 0.7mm 程度)

写真 1-5 CRCP に発生したひび割れ（幅の広いひび割れ）

2 コンクリートの配合と変形抵抗性

2.1 概説

本技術資料の作成に際し、様々な SF 工法用コンクリートのフレッシュ性状評価試験方法を比較検討し、コンクリートの配合選定をする際の指標としての可否を評価した。

まず、変形抵抗性を評価できる試験方法を選定する目的で、以下の予備試験を実施した。

(変形抵抗性)：エッジスランプ試験³⁾ (図 2-1、写真 2-1)

タンピング試験⁴⁾ (図 2-2)

テーブルフロー試験⁵⁾ (写真 2-2、写真 2-3、写真 2-4)

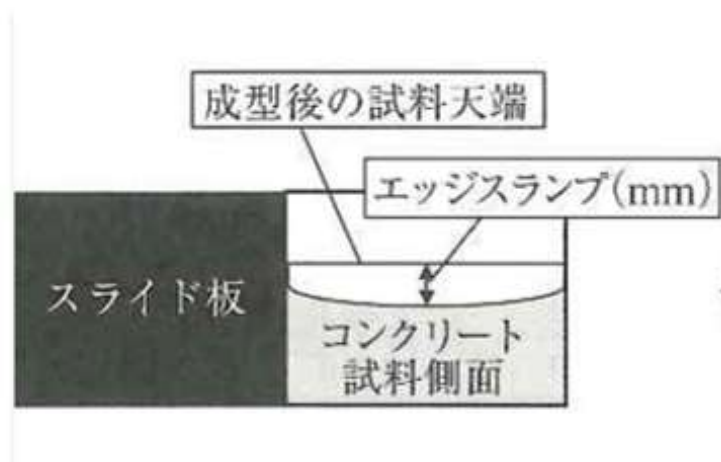


図 2-1 エッジスランプ試験装置



写真 2-1 エッジスランプ試験の様子

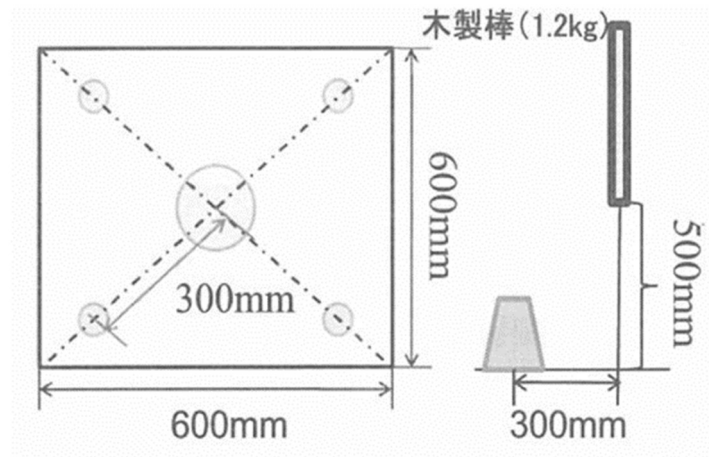


図 2-2 タンピング試験装置

エッジスランプ試験は、箱型の容器にコンクリートを打込み、締固め後、側面のスライド板を開き、コンクリートのエッジスランプを確認するもので、骨材の種類を 6 水準、s/a を各 3 水準に変化させた配合のコンクリートによる試験をした結果、配合の違いによるエッジスランプ試験結果の傾向が判然としなかった。エッジスランプ試験は、過去の論文³⁾でも言われているように、フレッシュコンクリートの品質管理試験としては、締固め性、変形抵抗性および脱型性を評価するための試験として位置付けられ、仕上がりの形状等の概ねの傾向を把握できるものと考えられた。

また、タンピング試験は、スランプ試験同様にスランプコーンを抜いた状態のコンクリートを静置した鉄板に、木製棒を落下させその落下回数とコンクリートの変形状態との関係を調べる試験方法であるが、配合の違いによる傾向は判然としなかった。

一方、テーブルフロー試験は、同一スランプにおける変形抵抗性の差を評価することが可能であったため、本技術資料ではテーブルフロー試験を用いた配合選定手順案を示す。

以降では、テーブルフロー試験の概要や種々の配合要因と変形抵抗性の関係について示す。

2.2 テーブルフロー試験

テーブルフロー試験とは、モルタルフロー試験（JIS R 5201）で使用するフローテーブル試験機を用いて、フレッシュコンクリートに衝撃を与え、コンクリートのスランプおよびフロー値を測定することで、コンクリートの変形抵抗性を評価する試験方法である。コンクリートは振動台式コンシステンシー試験と同様の形状で試験を行うため、脱型の影響を受けにくく、結果が安定する。

2.3 テーブルフロー試験手順

テーブルフロー試験方法は下記の手順で実施する。

①試料の準備

試料はフレッシュコンクリートの試料採取方法によって採取されたものか、試験室におけるコンクリートの作製方法に従って練り混ぜされたコンクリートを準備する。

②機材の準備

機材は、JIS R 5201 に示されるフローテーブルおよび振動台式コンシステンシー試験で用いるコーンおよび上部のアクリル板を用いる。コーンは金属製のもので、上端内径 150mm、下端内径 200mm、高さ 227mm である。また、コンクリートを締め固める棒バイブレーター（φ25mm程度）、スランプおよびフローを測定するための、ノギス等は別途準備する。

③試験の手順

- ・フローテーブル試験機を水平に据え付け、テーブル上にコーンを置く。試料を詰める直前に湿った布でテーブル、コーンを拭く。
- ・試料をコーンに 2 層に分けて詰め、各層を棒バイブレーターで 2～3 秒程度締め固める。
- ・上層を締め固めた後にコンクリート上面をコーンの上端に合わせコテで均し、コーンを静かに鉛直に引き抜く。
- ・コンクリート上面の直径を 4 カ所以上、高さを中央 1 カ所測定し初期値とする。
- ・フローテーブルを落下させ、落下回数 10 回、20 回、30 回でのコンクリート上面の高さと直径を測定する。30 回未満で側面が崩壊した場合は、試験終了とし崩壊したことを記録する。

④結果の整理

試験結果は、10 回落下時と 30 回落下時のコンクリートの高さ（スランプ）との差（以下、SF スランプ（mm）という）および 10 回落下時と 30 回落下時の上面の直径（頂部直径）の平均値との差（以下、頂部フロー（mm）という）として変形抵抗性を表す。また、側面が崩壊したものについては、変形抵抗性が低いことが明らかと判断し、崩壊したことのみに結果とする。



写真 2-2 フローテーブルとコーン



写真 2-3 テーブルフロー試験の様子



写真 2-4 テーブルフロー試験の SF スランプと頂部フロー

2.4 変形抵抗性への単位セメント量の影響

テーブルフロー試験を用いて、単位セメント量が変形抵抗性に及ぼす影響について検討した。SF 工法用コンクリートは、変形抵抗性確保のため粉体量が重要であると言われてい
る。このため、スランプと空気量を一定とし、単位セメント量を変化させたコンクリートで
テーブルフロー試験を実施した。目標スランプは 3.5cm (−0.5cm〜+1.5cm)、目標空気量
は 5.5±1.0%とし、s/a および AE 減水剤添加量を固定して、単位セメント量および単位水量
を調整した。使用材料は表 2-1 および表 2-2 に、コンクリートの配合およびフレッシュ性状
は表 2-3 に示す通りである。またセメントは普通ポルトランドセメント (N)、高炉セメン
ト B 種 (BB) の 2 種類を用いた。

テーブルフロー試験結果は図 2-3、図 2-4 に示す通りであり、セメントの種類によって若
干の差は認められるが、単位セメント量 300kg/m³を下回る場合、変形抵抗性が大きく低下
することが示された。また、単位セメント量 330kg/m³程度で変形抵抗性が最も高くなり、
それよりも増えると変形抵抗性は低下する傾向が示された。よって、SF 工法用コンクリー
トは目標強度を満足することを前提に、単位セメント量 300〜340kg/m³程度が必要である
と考えられた。この範囲は、1.5 節に示す SF 工法用コンクリートの出荷実績においても、
ほとんどの配合が入っており、実態と整合している。

表 2-1 使用材料 (セメント)

種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
普通ポルトランドセメント	3.16	3150
高炉セメントB種	3.04	4270

表 2-2 使用材料 (骨材)

区分	種類	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	FM
細骨材	川砂	2.62	2.58	1.58	2.51
粗骨材	砂岩碎石	2.65	2.63	0.55	6.52

表 2-3 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

セメント 種類	W/C (%)	s/a (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)				混和剤添加量		フレッシュ性状		
				W	C	S	G	AE 減水剤 (C×%)	AE 助剤 (C×%)	SL (cm)	Air (%)	Temp (°C)
N	55.6	40.0	0.719	144	259	754	1143	1.0	0.006	3.0	5.1	21
	51.4		0.709	146	284	743	1128		0.007	4.0	5.8	21
	47.6		0.700	147	309	734	1113		0.007	4.0	5.8	21
	44.3		0.691	148	334	724	1099		0.011	3.5	5.5	22
	41.8		0.681	150	359	714	1083		0.008	4.0	5.8	22
	39.6		0.672	152	384	704	1068		0.008	4.0	5.5	21
BB	55.1	40.0	0.712	146	265	746	1132	1.0	0.009	5.0	5.4	21
	51.0		0.702	148	290	735	1116		0.011	5.0	5.8	21
	47.3		0.693	149	315	726	1101		0.010	4.5	5.9	21
	44.1		0.683	150	340	716	1086		0.010	3.5	4.8	22
	41.6		0.673	152	365	705	1070		0.010	5.0	5.7	21
	39.5		0.663	154	390	695	1054		0.011	4.5	6.1	22

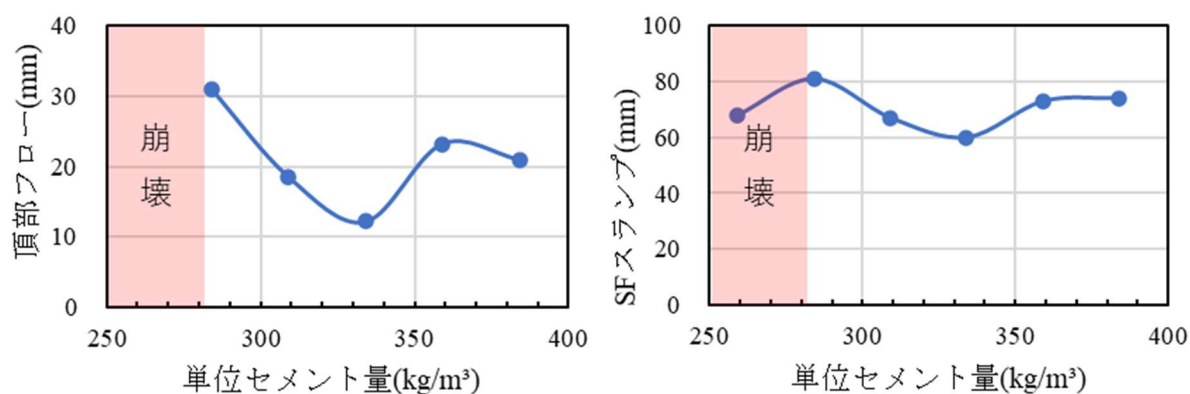


図 2-3 単位セメント量と変形抵抗性の関係（普通ポルトランドセメント）

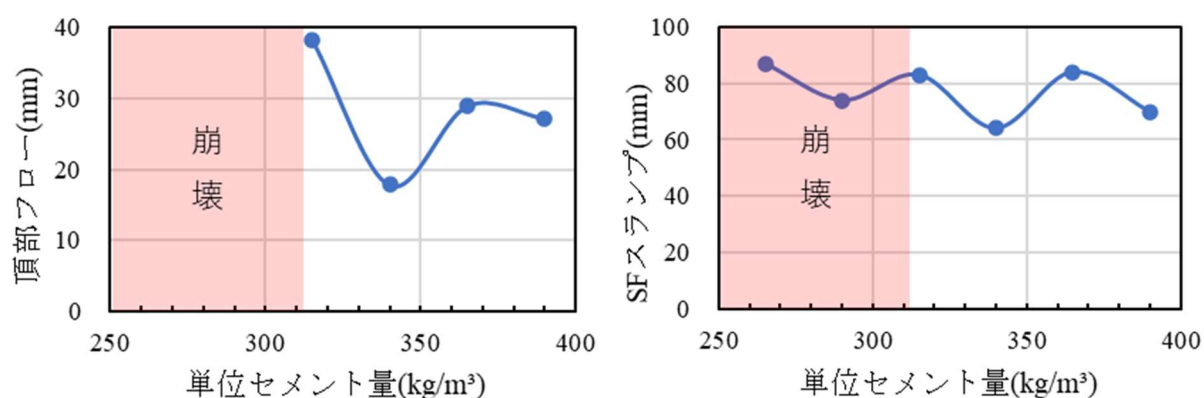


図 2-4 単位セメント量と変形抵抗性の関係（高炉セメントB種）

2.5 s/a の変形抵抗性への影響

テーブルフロー試験を用いて s/a が変形抵抗性に与える影響について検討した。試験を行ったコンクリートの配合は表 2-4 に示す通りである。セメントは普通ポルトランドセメント(N)とし、骨材は、粗骨材を砂岩碎石の 2005 と 4005、細骨材を山砂と砕砂の 4 つを組み合わせた 4 種類で、骨材ごとに s/a を 3 水準とした。目標スランプおよび空気量は 2.4 と同様で、目標スランプは 3.5cm (−0.5cm〜+1.5cm)、目標空気量は 5.5±1.0%とした。スランプおよび空気量の調整は、W/C および AE 減水剤添加量を固定し、単位水量および AE 助剤添加量を変化させた。

結果は図 2-5 に示す通りであり、s/a によって変形抵抗性は変化し、最も変形抵抗性の高い（頂部フローが小さい）s/a を選定できることが示された。また、骨材の組み合わせによって変形抵抗性の高い s/a は異なっており、材料ごとに検討する必要があると考えられた。

表 2-4 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

セメント 種類	粗骨材	細骨材	W/C (%)	s/a (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m³/m³)	単位量(kg/m³)				混和剤添加量		フレッシュ性状		
						W	C	S	G	AE 減水剤 (C×%)	AE 助剤 (C×%)	SL (cm)	Air (%)	Temp (℃)
N	砂岩 碎石 2005	山砂	42	36.8	0.718	150	357	657	1142	1.0	0.009	3.0	5.8	20
				40.8	0.665	150	357	729	1070		0.009	3.5	6.2	20
				44.8	0.621	154	367	792	987		0.006	2.5	5.5	20
		砕砂		39.6	0.677	155	369	717	1077		0.009	4.0	6.0	20
				43.6	0.633	155	369	789	1006		0.008	4.0	5.5	20
				47.6	0.583	158	376	855	927		0.011	2.5	5.7	20
	砂岩 碎石 4005	山砂		37.2	0.705	138	329	685	1178		0.010	3.5	5.7	21
				41.2	0.661	138	329	758	1103		0.009	3.0	5.2	21
				45.2	0.608	143	340	822	1016		0.008	3.0	5.3	21
		砕砂		34.3	0.740	137	326	650	1236		0.010	3.0	5.5	21
				38.3	0.695	137	326	726	1161		0.010	3.0	5.7	21

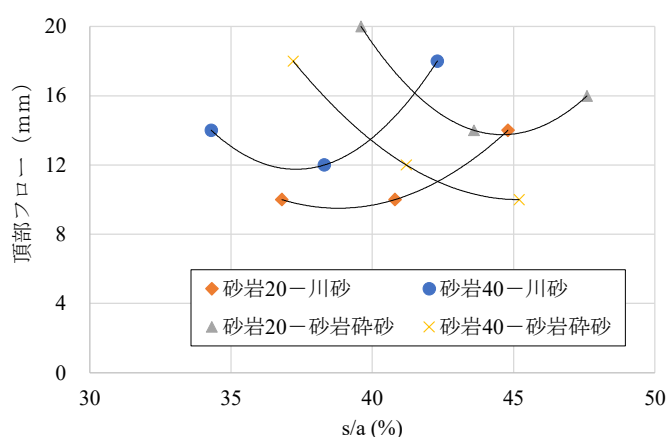


図 2-5 頂部フローと s/a の関係

3 配合選定手順案

3.1 概説

2章で得られた結果を元に SF 工法用コンクリートの配合選定手順案を作成した。配合選定においては、舗装用コンクリートの出荷実績（セットフォーム）がある場合とない場合の2つを想定した。

3.2 舗装用コンクリートの出荷実績がある場合の選定フロー

舗装用コンクリートの出荷実績がある工場の場合、スランプ 2.5cm もしくは 6.5cm で曲げ強度が 4.5MPa となる配合が既にあることを前提に、図 3-1 に示す選定フローを提案する。2章で得られた知見を元に単位セメント量は 300kg/m³以上、s/a は初期値を 40%とし、Step3 で材料毎にテーブルフロー試験で選定する。各 Step を下記に説明する。

Step1 暫定配合の決定

出荷実績のある舗装用コンクリートの配合を元に、SF 工法用コンクリートの配合に修正する。セットフォーム用コンクリートの場合、目標スランプは 2.5cm もしくは 6.5cm、目標空気量は 4.5%であることがほとんどである。これを目標スランプ 4 cm程度、目標空気量 5.5%の SF 工法用の配合となるよう表 3-1 例えは 6) を元に修正する。この時、修正の結果単位セメント量が 300kg/m³以下となった場合、W/C を固定したまま単位セメント量を 300kg/m³に変更し、改めて配合を修正する。

表 3-1 修正表 例えは 6)

条 件 の 変 化			修 正 値	
			s/a	W
W/C	0.05 の 増減		± 1 %	0
F.M.	0.1 の増減		±0.5 %	0
スランプ	1cm の増減		0	±1.2 %
空気量	1 % の増減		±(0.5~1)%	± 3 %
s/a	1 % の増減		—	±1.5(kg)

Step2 試験練り

Step1 で得られた暫定配合を、試験練りを行って目標スランプおよび目標空気量となるよう単位水量および AE 助剤添加量を調整する。この時 W/C と s/a40%は固定したままとする。

Step3 s/a の検討

Step2 で得られた s/a40%の配合および、s/a を 36%、44%、48%と変化させたときのテーブルフロー試験を行い、s/a と変形抵抗性の関係から最も変形抵抗性の高い s/a を選定する。s/a を変化させたときの配合は、W/C と AE 減水剤添加量を固定し、単位水量および AE 助剤の添加量の調整により、スランプと空気量は目標値となるように修正する。

Step4 曲げ強度の確認

Step3 で得られた最も変形抵抗性の高い s/a で再度配合修正を行い、コンクリートを混練する。得られたコンクリートで供試体を成型し、材齢 28 日で曲げ強度試験を実施し、目標強度を満足していることを確認し、終了となる。

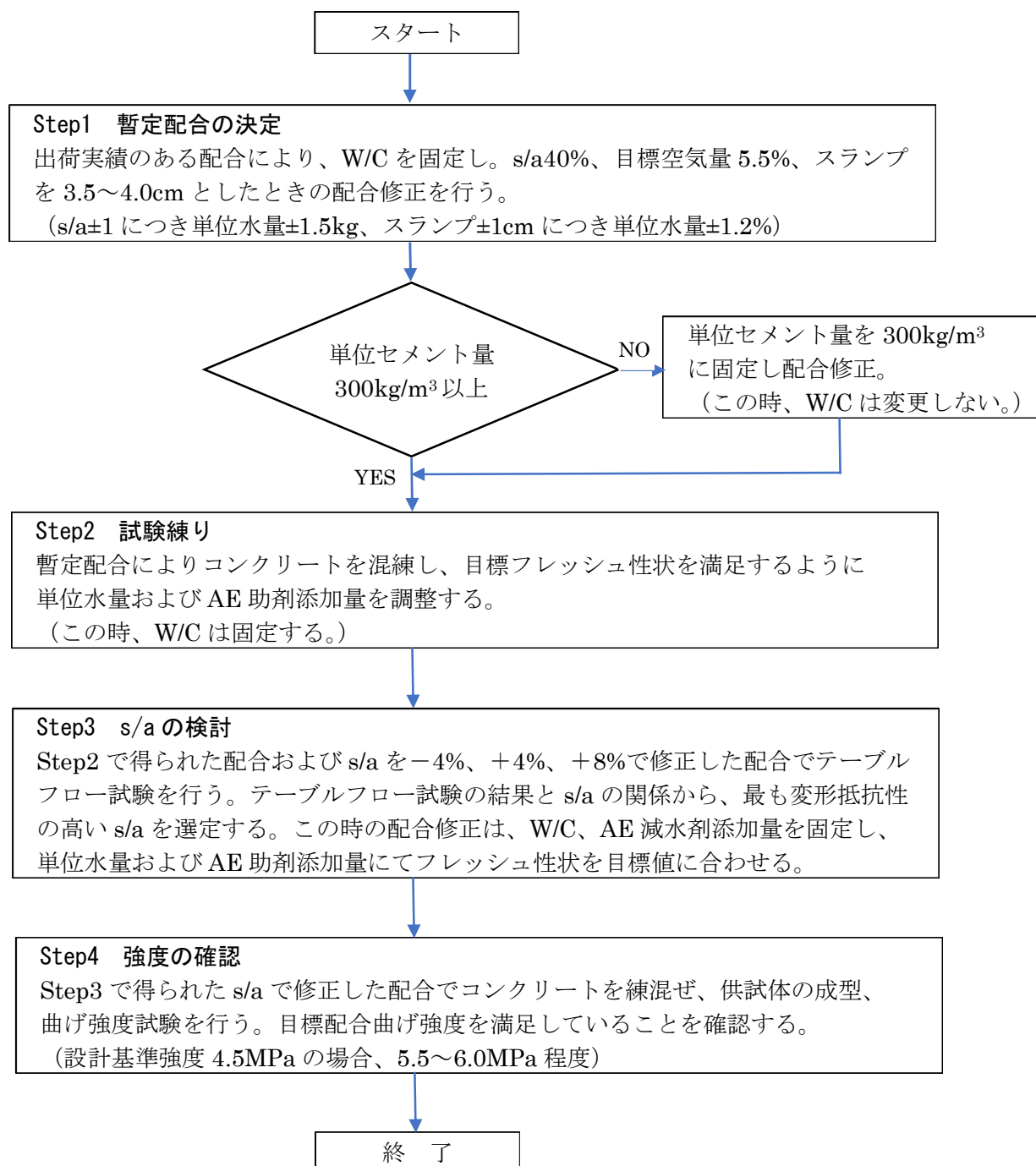


図 3-1 舗装用コンクリートの出荷実績がある場合の選定フロー図

3.3 舗装用コンクリートの出荷実績の無い場合の選定フロー

舗装用コンクリートの出荷実績の無い工場の場合、3.2 節と異なる点は曲げ強度に関する検討事項が加わる点である。s/a の選定後に C/W と曲げ強度の関係について試験で確認し、W/C を決定する必要がある。選定フロー案は図 3-2 に示す通りであり、各 Step を下記に説明する。

Step1 暫定配合の選定

目標スランプ 4cm 程度、目標空気量 5.5%、単位セメント量 300kg/m³、AE 減水剤添加量を標準量で固定した場合の配合計算を実施する。この時単位水量は任意で設定する（おおよそ 130~160kg/m³程度が良い）。また、通常の生コンクリート工場であれば圧縮強度については W/C との関係性を把握しているため、一般的な圧縮強度と曲げ強度の関係式を用いて W/C を決定し、単位水量を設定してもよい。

Step2 試験練り

Step1 で得られた暫定配合を、試験練りを行って目標スランプおよび目標空気量となるよう単位水量および AE 助剤添加量を調整する。この時 W/C と s/a40%は固定したままとする。

Step3

Step2 で得られた s/a40%の配合および、s/a を 36%、44%、48%と変化させたときのテーブルフロー試験を行い、s/a と変形抵抗性の関係から最も変形抵抗性の高い s/a を選定する。s/a を変化させたときの配合は、W/C と AE 減水剤添加量を固定し、単位水量および AE 助剤添加量の調整により、スランプと空気量は目標値となるように修正する。

Step4 W/C の検討

Step3 で得られた最も変形抵抗性の高い s/a において、Step3 の W/C および±5%で変化させた 3 水準の W/C でコンクリートを練混ぜ、曲げ強度試験を実施する。この時は、空気量のみ AE 助剤添加量で調整し、スランプは成り行きとしてよい。

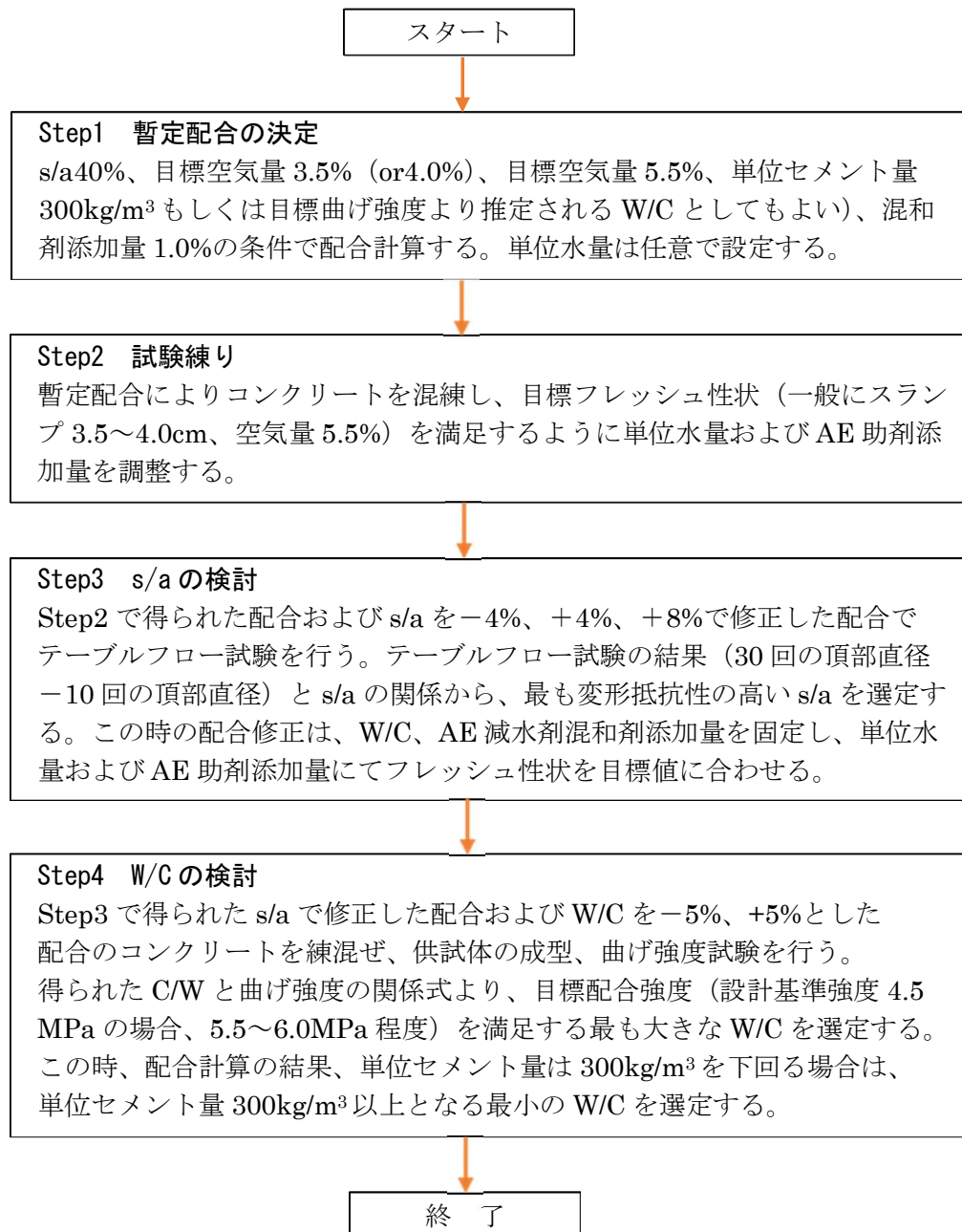


図 3-2 舗装用コンクリートの出荷実績が無い場合の選定フロー図

3.4 配合試験例

本項では、3.3 項で示した選定フローにしたがって実施した配合試験の例を示し、実際の手順について具体的に説明する。配合条件は表 3-2 に示す通りであり、舗装用コンクリートの出荷実績が無い場合とする。

表 3-2 配合条件

セメント	普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm ³ ）
骨材	砕石 2005（密度：2.65g/cm ³ ） 川砂（密度：2.62g/cm ³ 、FM2.51）
設計基準曲げ強度	4.5MPa
目標曲げ強度	5.5MPa
目標スランプ	4.0±1.5cm
目標空気量	5.5±1.5%

実施試験所における圧縮強度と C/W の実績式： $f_c = 30.45 (C/W) - 21.37$ 式 1

Step1 暫定配合の選定

今回は、目標曲げ強度から推定される W/C を用いることとした。すなわち一般的な曲げと圧縮の関係（今回は舗装設計施工指針の式を使用した）目標曲げ強度 5.5MPa に対応する圧縮強度を算出し、この圧縮強度に必要な W/C を実地試験所の実績（式 1）より推定する。今回は、式 2 より曲げ 5.5MPa に対応する圧縮強度は 47.4MPa、式 1 より暫定配合の W/C は 44.3% となる。暫定の単位水量は、舗装設計施工指針の表 3-3 ⁷⁾ を用いて計算し 143kg/m³、このときの単位セメント量は 323kg/m³であり、300kg/m³を満足した。以上より、暫定配合は表 3-4 の通りとなる。

圧縮と曲げの関係式： $f_c = (f_b / 0.42)^{1.5}$ 式 2 ⁸⁾

Step2 試験練り

暫定配合のコンクリートについて試験練りを行った結果スランプが目標より小さくなったため、表 3-5 に示すように配合修正を行い、目標フレッシュ性状を満足させた。

Step3 s/a の検討

修正した配合および、s/a を 36%、44%、48%としたコンクリートを作製し、テーブルフロー試験を実施した。s/a を変化させたときの配合修正は表 3-6 に示す通り、単位水量および AE 助剤添加量で調整した。フローテーブルによる試験結果は図 3-3 に示す通りである。頂部フローでは、s/a40%において最も変形抵抗性が高いことが示された。またスランプでは 36%と 40%はあまり変化が無く、44%以降で大きく変形抵抗性が低下（スランプ値が大きくなる）する傾向が示されたため、s/a40%を変形抵抗性の高い s/a として選定した。

Step4 W/C の検討

s/a40%で W/C を 3 水準変化させたコンクリートを作製し、材齢 28 日において曲げ強度試験を実施した。コンクリートの配合は表 3-7 に示す通りである。なお、本試験例では単位水量および AE 剤添加量を調整して、スランプおよび空気量を目標値となるようにしているが、強度のみの検討であれば調整は不要である。供試体は 100×100×400mm、28 日間標準水中養生後に試験に供した。曲げ強度試験結果は、図 3-4 に示す通りであり、曲げ強度 5.5MPa に必要な C/W は 2.08、W/C は 48.1%であった。水量については、W/C が変わっても単位水量は一定であるため、Step2 で得られた 148kg/m³とした。以上より、選定された SF 工法用コンクリートの配合は表 3-8 に示す通りである。

表 3-3 配合参考表

この表の値は、粗粒率FM=2.80の細骨材を用いた沈下度30秒（スランプ約2.5cm）のAEコンクリート（空気量4.5%の場合）で、ミキサから排出直後のものに適用する。				
粗骨材の 最大寸法 (mm)	砂利コンクリート		碎石コンクリート	
	単位粗骨材 容積	単位水量 (kg/m ³)	単位粗骨材 容積	単位水量 (kg/m ³)
40	0.76	115	0.73	130
25		125		140
20		125		140

上記と条件の異なる場合の補正		
条件の変化	単位粗骨材容積	単位水量
細骨材の粗粒率（FM）の増減に対して	単位粗骨材容積＝（上記単位粗骨材容積）×（1.37－0.133FM）	補正しない
沈下度10秒の増減に対して	補正しない	±2.5kg
空気量1%の増減に対して		±2.5%

- 〔注1〕 砂利に碎石が混入している場合の単位水量および単位粗骨材容積は、上記表の値が直線的に変化するものとして求める。
- 〔注2〕 単位水量と沈下度との関係は（log沈下度）～単位水量が直線的関係にあるため、沈下度10秒の変化に相当する単位水量の変化は、沈下度30秒程度の場合は2.5kg/m³、沈下度50秒程度の場合は1.5kg/m³、沈下度80秒程度の場合は1kg/m³である。
- 〔注3〕 スランプ6.5cmの場合の単位水量は上記表の値より8 kg/m³増加する。
- 〔注4〕 単位水量とスランプとの関係は、スランプ1 cmの変化に相当する単位水量の変化は、スランプ8 cm程度の場合は1.5kg/m³、スランプ5cm程度の場合は2 kg/m³、スランプ2.5cm程度の場合は4 kg/m³、スランプ1cm程度の場合は7 kg/m³である。
- 〔注5〕 細骨材のFMの増減に伴う単位粗骨材容積の補正は、細骨材のFMが2.2～3.3の範囲にある場合に適用される式を示した。
- 〔注6〕 高炉スラグ粗骨材を使用するコンクリートの場合は表に示されている碎石コンクリートと同じとしてよい。

表 3-4 暫定配合

W/C (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	s/a (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m^3/m^3)	単位量(kg/m^3)			
					W	C	S	G
44.3	4.0	5.5	40.0	0.671	143	323	733	1112

表 3-5 試験練りによる配合修正結果

W/C (%)	s/a (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m^3/m^3)	単位量(kg/m^3)				混和剤添加量		フレッシュ性状		
			W	C	S	G	AE 減水剤 ($\text{C}\times\%$)	AE 助剤 ($\text{C}\times\%$)	SL (cm)	Air (%)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)
44.3	40	0.691	148	334	724	1099	1.0	0.011	3.5	5.5	22

表 3-6 s/a 検討に使用したコンクリートの配合一覧

W/C (%)	s/a (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m^3/m^3)	単位量(kg/m^3)				混和剤添加量		フレッシュ性状		
			W	C	S	G	AE 減水剤 ($\text{C}\times\%$)	AE 助剤 ($\text{C}\times\%$)	SL (cm)	Air (%)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)
44.3	36	0.743	145	327	657	1181	1.0	0.008	3.5	5.7	22
	40	0.691	148	334	724	1099	1.0	0.011	3.5	5.5	22
	44	0.639	152	343	789	1016	1.0	0.008	3.5	5.0	22
	48	0.584	158	357	848	929	1.0	0.007	4.0	5.6	22

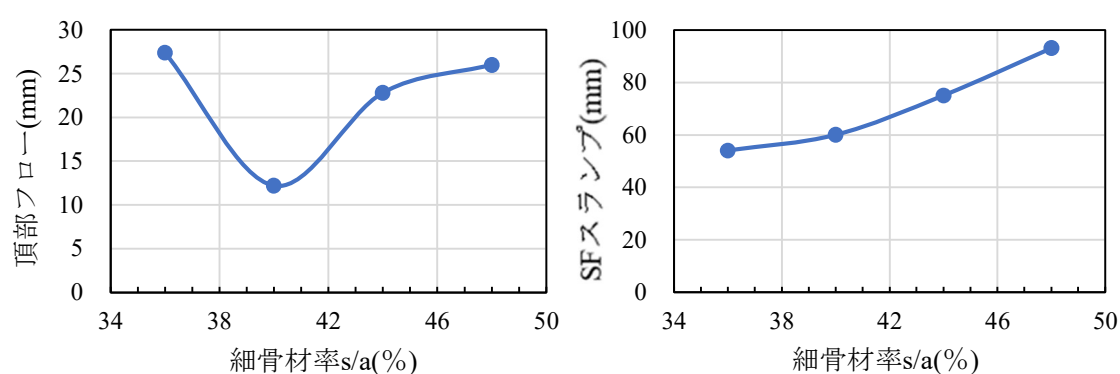


図 3-3 テーブルフロー試験結果

表 3-7 W/C 検討に使用したコンクリートの配合一覧

W/C (%)	s/a (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m³/m³)	単位量(kg/m³)				混和剤添加量		フレッシュ性状		
			W	C	S	G	AE 減水剤 (C×%)	AE 助剤 (C×%)	SL (cm)	Air (%)	Temp (°C)
51.4	40	0.709	146	284	743	1128	1.0	0.007	4.0	5.8	21
44.3		0.691	148	334	724	1099	1.0	0.011	3.5	5.5	22
39.6		0.672	152	384	704	1068	1.0	0.008	4.0	5.5	21

表 3-8 選定された SF 工法用コンクリートの配合

W/C (%)	目標スラック (cm)	目標空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				混和剤添加量	
				W	C	S	G	AE 減水剤 (C×%)	AE 助剤 (C×%)
48.1	4.0	5.5	40.0	148	308	733	1112	1.0	調整

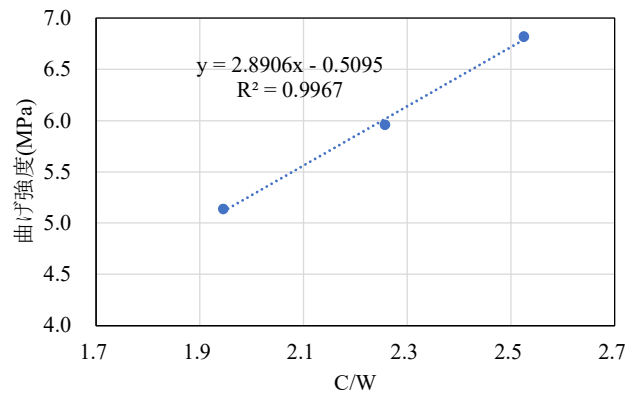


図 3-4 曲げ強度試験結果

4 まとめ

スリップフォーム工法で使用する舗装用コンクリートには変形抵抗性が高いことが求められる。

本検討では、テーブルフロー試験を実施すれば、舗装用コンクリートの変形抵抗性がある程度把握できることが示唆された。

変形抵抗性は s/a によって変化し、 s/a を何点か変化させた場合の s/a と頂部フローの関係から、頂部フローが下に凸の二次曲線が描け、最も変形抵抗性の高い（頂部フローが小さい） s/a を選定できることが示された。

また、骨材の組み合わせによって変形抵抗性の高い s/a は異なっており、材料ごとに s/a と頂部フローの関係を検討する必要があると考えられた。

これらの知見に基づいて、コンクリート舗装に用いる SF 工法用コンクリートの配合選定手順案を提案した。

参考文献

- 1) 福川光男／舗装技術者のための建設機械の知識、株式会社建設図書、p102、2020 年 8 月
- 2) 福川光男／舗装技術者のための建設機械の知識、株式会社建設図書、p103、2020 年 8 月
- 3) 鈴木徹、塚本真也、坂本寿信、酒井宏和、鎌田孝行、齊藤一之／舗装用スリップフォーム工法コンクリートの自立性、脱型性を評価する品質試験方法、道路建設 2013-9 月号、pp.71-77（2013 年 9 月）
- 4) 榊原誠樹、宇治公隆、上野敦、大野健太郎／タンピング試験を用いたコンクリートのワーカビリティに及ぼす細骨材粗骨率の影響評価、コンクリート工学年次論文集 p36（2014 年 6 月）
- 5) 長山清一郎、嶋田泰丈、小池晶子、上本洋／舗装用スリップフォームコンクリートの配合選定に関する検討、土木学会第 73 回年次学術講演会講演集 V-685、pp.1369-1370（2018 年 8 月）
- 6) 國分正胤／土木材料実験（改訂 4 版）、技報堂出版株式会社、p137、1983 年 5 月
- 7) 舗装設計施工指針（平成 18 年版）、社団法人日本道路協会、p252、2006 年 2 月
- 8) 舗装設計施工指針（平成 18 年版）、社団法人日本道路協会、p270、2006 年 2 月

ISBN 978-4-88175-174-9 C3358

舗装技術専門委員会 技術資料

2023 年 1 月 20 日 発行

一般社団法人セメント協会
東京都中央区新富 2-15-5
RBM 築地ビル 2 階
電話 03 (5540) 6171 (代)

発行所 一般社団法人セメント協会 研究所
東京都北区豊島 4 丁目 17 番 33 号

電話 03 (3914) 2691 (代)

