

耐久性専門委員会報告

REPORT OF THE TECHNICAL COMMITTEE
ON DURABILITY OF CONCRETE

1999年11月
(Nov. 1999)

社団法人 セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

序

1997年に新たな耐久性専門委員会をセメント協会内に発足し、セメント・コンクリートの耐久性に関する検討を行ってきました。

コンクリートはメンテナンスフリーであり、半永久的なものであるといわれてきました。しかし、コンクリート構造物の耐久性は、土木学会「コンクリート標準示方書」や建築学会「建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」の規定があくまでも原則的・平均的なもののため、これらを全部守っても、個々のケースで色々な条件から問題になってしまうことがあります。また、戦後50年が経過し、老齢化したコンクリート構造物の補修、補強等をどうするか、アルカリ骨材反応や塩害に対してどうするか、また、セメント・コンクリートの耐久性に対してどのような課題があり、どのように対処するのか、というように耐久性は、非常に多岐にわたっており難しい問題であります。

これらのことから、耐久性に関する現状および問題点等を把握するために、各専門分野の方々へ「コンクリートの耐久性に関するアンケート調査」を実施しました。

このアンケート調査結果をふまえて、耐久性に関するパネルディスカッションを開催し、①RC造建物の耐久設計、②セメントの強さとコンクリートの耐久性、③非破壊検査による耐久性評価、④RC構造物の寿命予測、⑤セメント系材料の性能による評価、⑥コンクリートの耐久性をとらえ直すの6題の講演と活発なディスカッションが行われ、耐久性向上に関して一筋の光明がさされたと思われます。

本報告は、アンケート調査結果、アンケート調査結果に対する耐久性専門委員会からのコメントおよびパネルディスカッションの状況をとりまとめたものであります。本報告の内容が、耐久性について検討または研究している方々に参考となれば幸いです。

なお、アンケート調査、パネラーおよびパネルディスカッション等にご協力いただいた関係各位ならびに専門委員会各位に、厚く謝意を表します。

1999年11月

社団法人 セメント協会
耐久性専門委員会
委員長 西澤紀昭

耐久性専門委員会

1999年3月現在

- 委員長 西澤 紀昭 中央大学
長瀧 重義 新潟大学工学部
友澤 史紀 東京大学大学院工学研究科
大門 正機 東京工業大学工学部
○吉田 八郎 太平洋セメント株式会社
○窪山 潔 三菱マテリアル株式会社(1998年7月選任)
○上野 一恵 電気化学工業株式会社
○小野 義徳 太平洋セメント株式会社(1997年10月選任)
富田 六郎 太平洋セメント株式会社(1997年10月退任)
山崎 之典 太平洋セメント株式会社(1998年10月退任)
城 安市 株式会社トクヤマ
中村 卓爾 宇部興産株式会社
檀 康弘 新日鐵高炉セメント株式会社
小林 茂広 住友大阪セメント株式会社
(車田則充 1998年5月交替)
○宇賀神尊信 (社)セメント協会研究所
(森山容州 1998年4月交替)
村田 芳樹 (社)セメント協会研究所
高橋 茂 (社)セメント協会研究所
岩下 直義 (社)セメント協会研究所

○は、幹事

目 次

1. はじめに.....	1
2. コンクリートの耐久性に関するアンケート調査結果.....	2
2.1 まえがき.....	2
2.2 アンケート調査結果.....	2
2.3 まとめ.....	9
3. アンケート調査結果に対する耐久性専門委員会委員からのコメントおよび意見.....	10
3.1 アンケート調査結果に対するコメント.....	10
3.2 アンケート調査結果.....	16
4. パネルディスカッション「コンクリートの耐久性—将来の社会環境をふまえて—」.....	17
4.1 趣旨説明.....	18
4.2 アンケート調査結果報告.....	18
4.3 パネラーによる講演.....	19
(1) 鉄筋コンクリート造建物の耐久設計.....	19
(2) セメントの強さとコンクリートの耐久性.....	21
(3) 非破壊検査による鉄筋コンクリート構造物の耐久性評価.....	24
(4) 鉄筋コンクリート構造物の寿命予測.....	26
(5) 「セメント系材料の性能による評価」—特に海洋環境下を対象として—.....	28
(6) コンクリートの耐久性をとらえ直す.....	31
4.4 ディスカッション.....	33
(1) 耐久性設計の視点.....	33
(2) 耐久性評価と診断.....	35
(3) 耐久性から見た材料.....	37
(4) 今後の動向.....	40
4.5 閉会の挨拶.....	41

資料	43
1. アンケート回答結果およびアンケート調査回答者のコメント集概要	45
2. 耐久性専門委員会議事録	63
3. 耐久性専門委員会関係報告	74

1. はじめに

コンクリートの耐久性は、古くして新しい問題であり、構造物の安全性、経済性等に影響を与える重要な性能です。

耐久性に影響を与える要因は、気象作用、酸・塩類・油類および海水の作用、電食およびアルカリ骨材反応をはじめ多岐にわたり、本来、この耐久性は設計条件、材料、施工条件、補修、環境条件またこれらの複合条件に対する対応の仕方によって種々異なる性格のものと考えられます。

そのため、故岸谷孝一氏(東京大学名誉教授)を委員長として、1983年から1993年の10年間にわたって、①コンクリートの乾燥収縮ひび割れ抵抗性に及ぼす各種要因、乾燥収縮ひび割れと施工との関連および乾燥収縮ひび割れが構造物に及ぼす影響、②コンクリートの耐久性を阻害する要因マップおよびコンクリート供試体による凍害調査、③コンクリートに及ぼす酸性雨の影響について調査・研究を実施しました。

最近のセメント・コンクリートを取り巻く動向としては、省資源・省エネルギーを考慮した材料の開発が行われ、その使用には自然との調和を配慮して構造物への適用が進められています。また、国際化を迎えて個々の材料、コンクリートおよび構造物の設計等はこれら規格のISO整合化を含む性能規定化が進められています。さらに、耐久性については、以前から種々の調査研究が行われており、現在も多方面にわたって取組みがなされています。このように、古今を問わず調査研究が行われていることは、耐久性に対する本質を追求することの難しさを物語るものと思われ、今後、新たに耐久性に影響を及ぼす要因を提起される可能性が無いとは言い切れず、過去の問題が再燃する可能性も含んでいます。

これらの背景から、西澤紀昭氏(中央大学名誉教授)を委員長として、1997年に新たな耐久性専門委員会を設置して、1999年までの2年間にわたって、セメント・コンクリートの耐久性についてセメント協会・業界が実施すべき事項を検討しました。その結果、セメント・コンクリートの耐久性全般について問題点や関心のあるテーマ等に関するアンケート調査およびセメント・コンクリートの耐久性に関するパネルディスカッションの実施を中心に活動しました。

本報告は、セメント・コンクリートの耐久性について具体的な形で現在の問題点、検討すべき点および関心のあるテーマ等のアンケート調査を実施した結果および耐久性に関するパネルディスカッションで議論されたことをとりまとめたものであります。

2. コンクリートの耐久性に関するアンケート調査結果

2.1 まえがき

コンクリートの耐久性全般について具体的な形で現在の問題点、検討すべき点および関心のあるテーマ等を抽出把握し、耐久性向上や耐久性設計等を検討していく上で有益な資料の蓄積およびパネルディスカッションのテーマを選定する目的で、表-1に示す12項目にわたるアンケート調査を全国の官・学・民の有識者約200名にお願いし、115名もの多くの方から回答を得ました。回答者の内訳は、大学56%，建設会社12%，官公庁6%，電力・製品・混和剤・コンサルタント等26%でした。なお、回答は、「はい」、「いいえ」で答えていただき、コメントがあれば記述していただく形をとっています。アンケート回答者からの回答及びコメントの概要を資料編に掲載いたしました。

表-1 アンケート調査内容

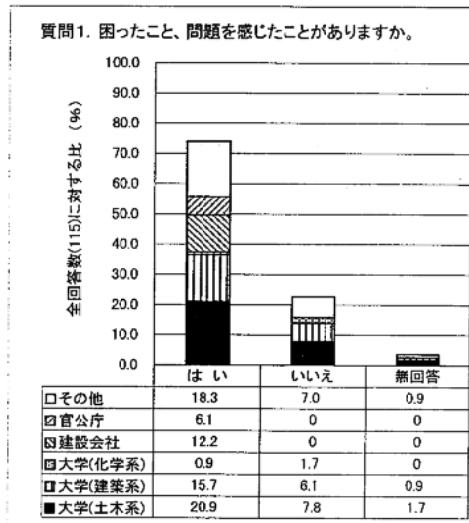
質問番号	質問内容
1	コンクリートの耐久性に関して現在また、過去に困ったこと、問題を感じたことがありますか。
2	コンクリートの耐久性を今以上に向上させるために、新しい技術で対応するといった考え方をお持ちですか。
3	コンクリートの耐久性に関してテーマとして取り上げたいものがありますか。
4	アルカリ骨材反応、塩害に関して新たな事例があると思いますか。
5	コンクリートの耐久性のうちどのようなことを重要視されますか。(複数回答可) ①凍害、②アルカリ骨材反応、③ひび割れ、④摩耗、⑤化学浸食、⑥塩害、⑦中性化、⑧腐食、⑨評価方法、⑩高耐久性、⑪酸性雨、⑫その他
6	我が国のセメントについて耐久性関連で日頃感じておられることがありますか。
7	我が国のコンクリート構造物の耐久性について日頃感じておられることがありますか。
8	セメントの規格改正(97.4月)が行われましたが、耐久性関連で何か問題点がありましたか。
9	材料および施工上、耐久性に関して検討すべき事柄がありますか。
10	コンクリートの性能規定が図られている中で、評価方法についてコンクリートの耐久性の関連で何か問題がありますか。
11	古いコンクリートあるいはこの5年間にコンクリート構造物の耐久性について調査を実施したことがありますか。
12	既存のコンクリート構造物の耐久性を向上させるための保守・管理について何か対処されていますか。

2.2 アンケート調査結果

【質問6】と【質問8】は、セメントに関する質問のため、とりまとめて【質問6】の調査結果に示しました。そのため、【質問9】から番号が1つづつ繰り上がっています。

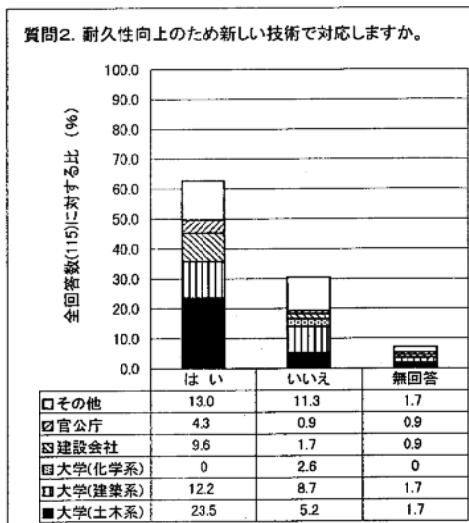
【質問1】コンクリートの耐久性に関して現在また、過去に困ったこと、問題を感じたことがありますか。

質問1の図に示すように、約70%の方が困ったことや問題を感じたことがあると回答されました。具体的には、補修・補強に対する効果の定量的評価と補修後の耐用年数・費用等の評価システム、環境条件に関する評価方法、促進試験(室内、暴露、コア供試体)と実構造物との関係、試験方法の確立等についてが約16%と最も多く、コンクリートの耐久性の評価が現状では確立されていないことに問題を感じているのが多かった。さらに、鉄筋腐食を増長する要因、腐食診断技術の開発が必要である等の塩害・鉄筋腐食に関することが約10%、劣化に関することが約8%、等について困ったことや問題を感じているとの意見がありました。



【質問2】コンクリートの耐久性を今以上に向上させるために、新しい技術で対応するといった考え方をお持ちですか。

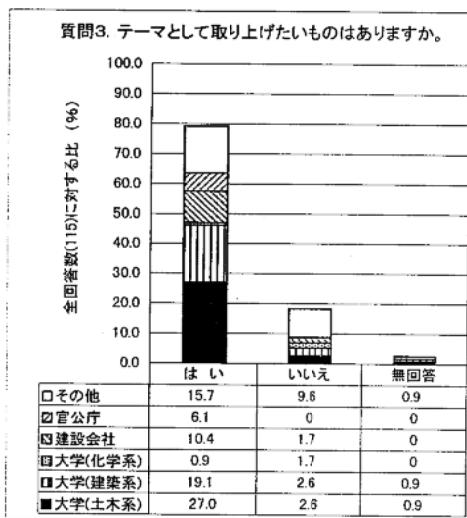
質問2の図に示すように、約60%の方が新しい技術を開発して耐久性を今以上に向上させたいと考えていると回答されました。具体的には、高性能コンクリート、超硬練コンクリート、繊維補強コンクリート等の各種コンクリートを使用するが約17%、耐久性に優れた新材料の開発・活用が約16%、塩害・鉄筋腐食に対して電気化学的補修、防錆剤を使用する等が約10%、構造・設計の改善が約5%、評価方法の改善が約4%、品質改善等を行って向上させたいと考えているとの意見がありました。



【質問3】コンクリートの耐久性に関してテーマとして取り上げたいものがありますか。

質問3の図に示すように、約80%と大多数の方がテーマとして取り上げたいものがあると回答されました。具体的には、塩害・鉄筋腐食に関する劣化対策、維持管理、ひび割れの進展等についてが約19%と最も多く、中性化と塩害、塩害と凍害、初期凍害と疲労性状等の複合劣化が約12%、補修材料の性能評価試験方法、強度・水密性で耐久性を評価できる試験方法等の評価方法が約12%、ひび割れ、凍害がそれぞれ約9%、品質評価が約6%、等についてテーマとして取り上げたいと意見がありました。

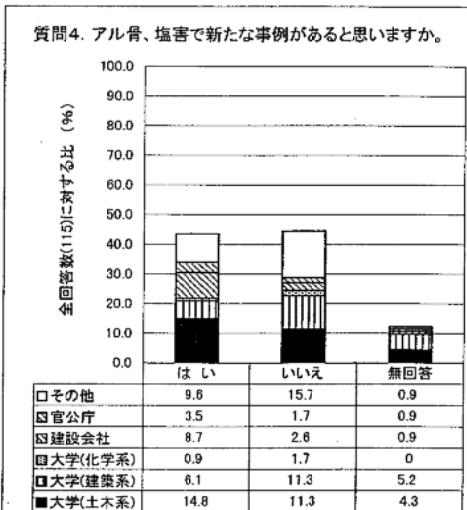
このように、コンクリートの耐久性については十分わかっていないこともあり、取上げたいテーマ、検討したいテーマが極めて広範囲にわたっているのが特徴的でした。



【質問4】アルカリ骨材反応、塩害に関して新たな事例があると思いますか。

質問4の図に示すように、「はい」と「いいえ」が約40%でほぼ同数でありました。これは、アルカリ骨材反応、塩害とも地域的な問題であること被害を公表しずらいこと等のためであろうと推察されます。具体例としては、塩害では、凍結防止剤による影響、飛来塩分による影響、ロードカッター・縁石・壁高欄・トンネル内での塩害、地下水による影響等の事例がありました。アルカリ骨材反応に対しては、塩化物との複合作用による影響、中部・九州・沖縄地方でゲルが生じている事例、平成年度になって建造された構造物でも発生している等の事例がありました。アルカリ骨材反応、塩害ともなくなっておらず、各地で損傷が発見され、修復工事が行われているとの意見もありました。

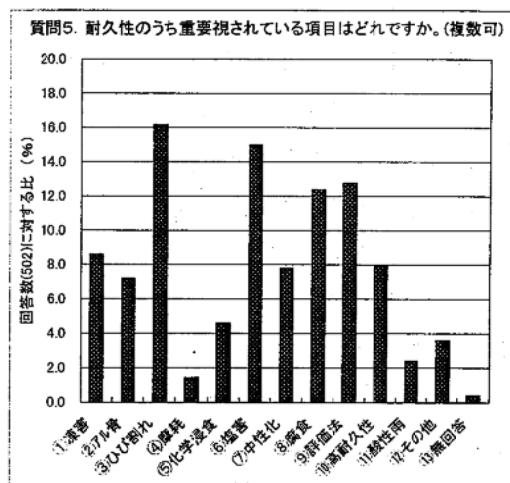
このように、アルカリ骨材反応および塩害に対しては現在でも耐久性上の問題が生じているようです。



【質問5】コンクリートの耐久性のうちどのようなことを重要視されていますか。

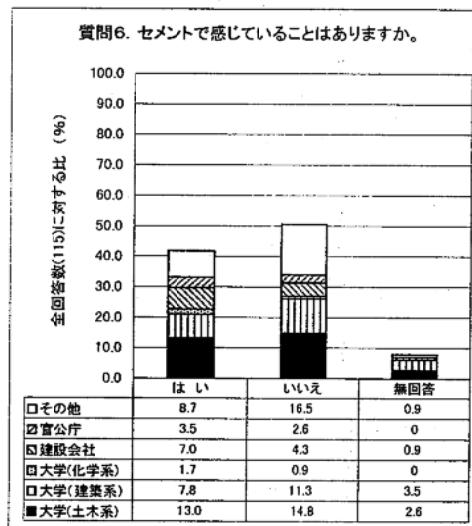
(複数回答可)

質問5の図に示すように、重要視していることは、ひび割れ、塩害、腐食、評価方法についてがそれぞれ約12%以上であり、ついで凍害、アルカリ骨材反応、中性化、高耐久性についてが約7%以上でした。その他、複合要因に対する耐久性、高流動コンクリートの耐久性、施工と示方書との関連等の意見もありました。



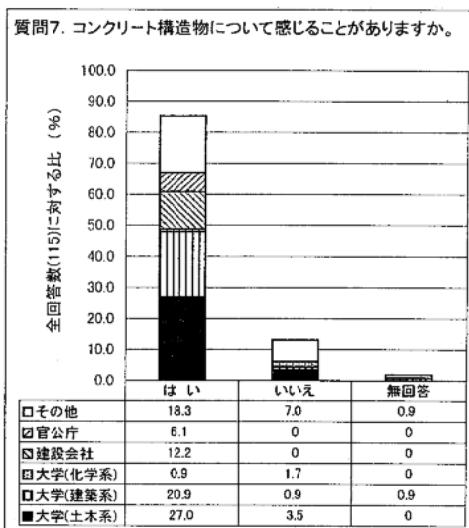
【質問6】我が国のセメントについて耐久性関連で日頃感じておられることがありますか。

質問6の図に示すように、「いいえ」が約50%、「はい」が40%ありました。「はい」と回答された方の感じられていることは、乾燥収縮率の少ないセメントの開発が必要が約13%、28日強度を重視し耐久性を軽視しているが約9%、耐久性とセメントの化学組成・粉末度・混和材との関係を明らかにして欲しいが約8%、粗粒セメントとし水セメント比を低減した方が良いが約8%、等の意見がありました。なお、セメントの規格改正(97年4月)が行われましたが、耐久性関連で何か問題がありますかの質問に対しては、約70%の方が問題がないと回答されました。



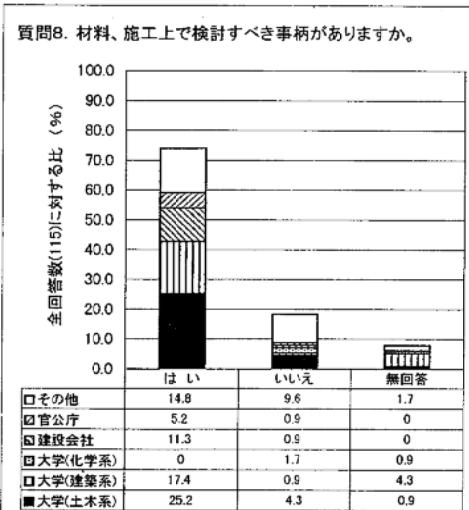
【質問7】我が国のコンクリート構造物の耐久性について日頃感じておられますか。

質問7の図に示すように、約80%と大多数の方がコンクリート構造物の耐久性について感じていることがあると回答されました。具体的には、高耐久性の指針が必要、耐久設計(土木学会)を積極的に実設計に取り入れることが必要等、設計手法・基準の整備等の基準に関することが約23%と最も多く、これは、コンクリートの耐久性の評価が難しく、基準類を作りにくいことを示していると考えられます。さらに、施工の良否と耐久性との関係、複雑な形状による締固め不足、施工能率優先で良いか等の施工に関することが約16%ありました。施工の良否が耐久性に影響を及ぼすと考えている結果であろう。また、補修後の評価方法、補修材料自体の耐久性、保全・補修が容易な構造形式の提案等といった補修に関することが約13%あり、特に補修後の評価方法について早期に確立してほしいとありました。その他寿命に関することが約7%、複合劣化、骨材、ひび割れに関することがそれぞれ約2%、等についても日頃感じているとの意見がありました。



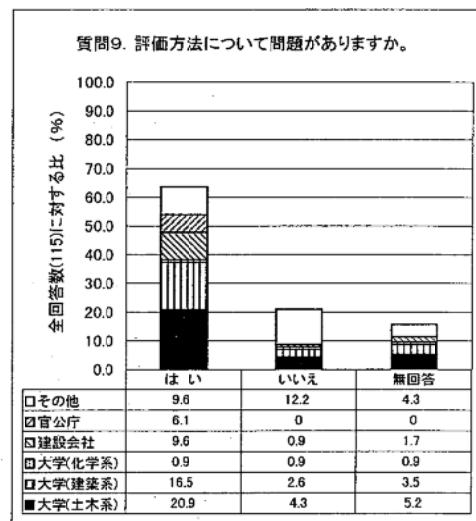
【質問8】材料および施工上、耐久性に関して検討すべき事柄がありますか。

質問8の図に示すように、約70%の方が検討すべき事柄があると回答されました。具体的には、点数化等定量的な施工判定方法の確立、ひび割れ発生に関する設計施工管理方法、耐久性を考慮した施工、施工条件が材料性能に及ぼす影響等といった施工に関することが約32%と最も多く、この中でも施工判定方法の確立を望む方が多かった。さらに、アルカリ骨材反応の対策、良質骨材の枯渇化に伴う骨材の対応、低品質骨材を用いたコンクリート等の骨材に関することが約12%、補修補強に対する最適工法の選定、補修効果の定量的評価等の補修に関することが約9%、施工に技術力の評価方法をどのように構築するか、耐久性評価試験方法の確立、材料・施工方法に関する性能評価等の評価方法に関することが約8%、骨材以外の材料に関することが約5%、ひび割れに関することが約5%、等について検討すべきという意見がありました。



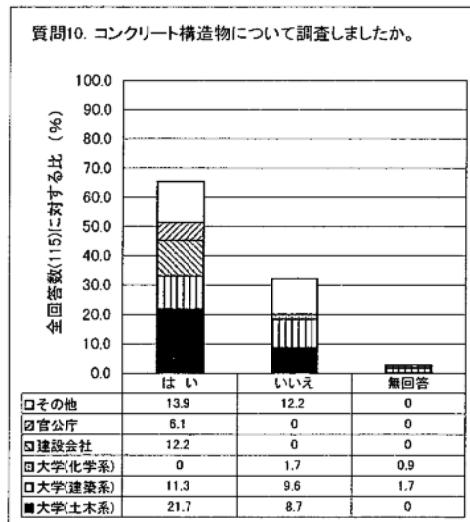
【質問9】コンクリートの性能規定化が図られている中で、評価方法についてコンクリートの耐久性の関連で何か問題点がありますか。

質問9の図に示すように、約60%の方が問題点があると回答されました。具体的には、評価方法が確立されていない・確立するのが難しい、項目と方法の整理が必要である等が約52%と最も多く、雨水の接触を避けるようなディテールの設計、雨仕舞の見直し等の補修に関することが約9%、ひび割れ指数の選定やひび割れの可能性の確率を設けて欲しいが約9%、寿命、基準、定量化に関することがそれぞれ約4%、等の意見がありました。



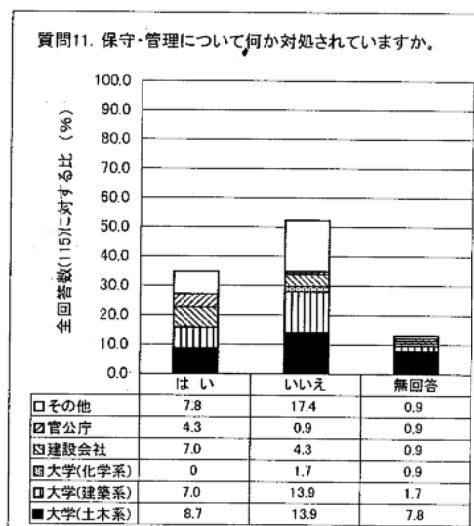
【質問10】古いコンクリートあるいはこの5年間にコンクリート構造物の耐久性について調査を実施したことがありますか。

質問10の図に示すように、約60%の方が調査を実施したと回答されました。調査内容は、鉄筋腐食・塩分量の調査が約30%と最も多く、ひび割れ、あるいはひび割れと漏水の関係等のひび割れ調査が約14%、構造物の中性化の調査が約12%、アルカリ骨材反応の調査が約9%、凍害の調査が約6%、強度・弾性係数の調査が約6%、等について調査を実施したとの回答がありました。



【質問11】既存のコンクリート構造物の耐久性を向上させるための保守・管理について何か対処されていますか。

質問11の図に示すように、回答者の所属が反映したためか「いいえ」が約50%，「はい」が約30%でありました。「はい」と回答された方の保守・管理についての対処は、補修補強の設計施工方法の検討、補修の要否の判断基準の検討、樹脂塗布による補修、メンテナンスの確立、炭素繊維シートやRC等による耐震補強、非破壊試験検査法の確立、劣化速度評価の検討、腐食に対して電気化学的手法による塩害モニタリングの実施等を行っているとの回答がありました。



2.3 まとめ

コンクリートの耐久性についての現状、問題点および検討すべき点等を具体的に把握する目的でアンケート調査を実施した結果をまとめると、コンクリートの耐久性について、材料、施工および基準等や補修時期、補修後の耐用年数に関する評価方法や補修・補強方法等についての検討が必要であること等が抽出されるとともに検討すべき内容は多岐にわたることが把握できました。また、セメントについては、耐久性に関して概ね問題がないとの評価であったが、セメント設計から見直しによる耐久性向上の期待も寄せられていました。今までにコンクリートの劣化要因、メカニズムが全て解明されているわけではないが、過去の研究で種々の劣化要因解明とその対処方法が提案され、示方書、仕様書等に取り入れられています。これをそれぞれの立場の専門家が十分生かすことがコンクリートの耐久性向上に重要と考えられます。将来、耐久設計のみならず、性能評価型設計が確立されていく中で、耐久性の設計評価手法、材料評価手法の確立に向けたコンセンサスの形成が必要です。また、資源循環型社会の要請の中で、コンクリートの耐久性のあるべき姿を描き、その実現に向けた研究や複合劣化等未解明な問題の解決を計り、損傷度の定量的評価方法並びに補修・補強方法の確立が重要であると考えられます。耐久性技術の向上を目指すうえで、それぞれの機関の連携が必要であることが示唆され、セメント協会の耐久性への取組み方を考えるうえでも有益であったと考えられます。

3. アンケート調査結果に対する耐久性専門委員会委員からのコメントおよび意見

アンケート調査結果に対する委員からのコメントおよび意見を記します。

3.1 アンケート調査結果に対するコメント

西澤紀昭（中央大学名誉教授）

このアンケートは、【質問5】だけを除いて、12の質問に対して「はい」、「いいえ」で答える形をとっているが、資料編に示すコメント資料全体を見て、まず気がついたことは、回答者のほとんど全員が、各質問ごとのコメントを書かれていることである。

例えば、【質問1】に「コンクリートの耐久性で問題があった」と「はい」で回答された方は、85人(全数の約3/4)であり、一方、「問題」に関する総数は87であった。これらのコメントは、85人がそれぞれ、こんな問題があった、と具体的に記入されたものである。「スラブ下面のかぶり不足による鉄筋腐食」とか「環境条件に関する評価方法」などのコメント87を内容ごとに分別・集計すると、67項目となる。

この項目数とコメント記入総数87との比は、 $67/87=0.77$ である。この項目・記入数比の値は、同一項目に複数の記入が多ければ、小さくなり、一項目・一回答の傾向が強くなれば、1.0に近づき、大きくなる。他の【質問】の項目・記入数比も、0.8前後のものが多く、コメントの内容が各人各様であって、大部分が一項目・一回答のものであった。

このように、コメントそれぞれの内容が多種多様であったことは、コンクリートの耐久性に関する考え方、経験、対策などに、幅広い多様性が存在していることを示しているもの、と思われた。コンクリートの研究者や技術者の中に、このような広がりと隔たりがあるためコンクリートの耐久性問題の解明が困難なものとなっている、と推量している。

アンケート回答者が、コンクリートの耐久性に関して、困っている主要な問題は、塩害、ひび割れ、凍害、中性化、アルカリ骨材反応の5つであるように思われる。

【質問1】のコメント記入者のうち約3割が上記の5項目を指摘された。【質問3】のコメントでも、塩害、ひび割れ、凍害およびこれらの複合劣化に関心がある、との記述の合計が、半数近くあった。

さらに【質問4】でも半数の方が、今後も塩害とアルカリ骨材反応の被害は後をたたないであろう、と回答し、【質問5】(回答総数502)では、上記の5項目を「コンクリートの耐久性の問題点として重視する」との回答合計が55%を占めていた。

【質問11】の回答数は、全回答の2/3であり、これらの調査項目の約70%は、塩害、ひび割れ、凍害、中性化、アルカリ骨材反応であり、このうち、前2者だけで半数に達していた。

コンクリートの耐久性を向上させる対策に関する【質問2】のコメント(全数100)は材料、施工、システムの3つに大別できる。混和材料、防錆剤などの改良・開発や、塗膜鉄筋、非鉄補強材などの使用、さらに高性能コンクリートの開発が、材料面で期待される対策であり、全体の約半数に及んでいた。

施工上の対策としては、プレキャスト型枠の利用、合理的なコストと工期、品質管理の改善と強化、等があげられ全コメントの1割程度にすぎなかった。鉄筋防食法や埋設型枠工法の採用、耐久・寿命設計の導入、耐久性の評価と基準の確立などがシステムに関する対策で1/3程度を占めていた。

【質問 7】に回答された人が、115 人中 98 人(85%)もいることは、予想された結果である。コンクリートの耐久性を改善したり、確保したりする手法や対策を模索しているもののその答えを持ち合わせていない現状をそのまま反映している回答結果であるといえよう。

耐久性・寿命・耐用年数・環境に関するフィロソフィーとバックデータが欠如・不足していること、さらに耐久性の評価や保証を具体的に示した基準・規格がないこと、などの基本的問題を指摘したものが、コメント全数 90 の 1/3 もあったことは、耐久性模索時代を象徴していると考えてよいかもしれない。

施工が耐久性に及ぼす影響、施工優劣の数量的評価、施工法進歩と耐久性向上との関連の検討不足など施工に関する要望と反省のコメントが 2 割程度あった。

劣化したコンクリート構造物の診断・調査方法と数量的判定、補修策の確立と補修効果の評価、点検・保守マニュアルの整備、など補修関係のコメントは全体の 1/6 であった。

その他の指摘として、高強度すなわち高耐久性は安易な図式である、初期投資に耐久性評価が配慮されているのか、耐久性への期待と耐用年数とのあいだに落差がありすぎる、などの見逃しがたいコメントが 2 割を超えて寄せられていた。

【質問 9】のコメントは、コンクリートの耐久性について、材料と施工の面で検討すべき事柄 76 項目であり、これらは材料 1、施工 2 の割合で大まかに分類できる。【質問 10】では、耐久性を評価する方法の問題点 34 項目のコメント、【質問 12】では、保守・管理の対処に関するコメント 39 項目が、それぞれ集められている。これら 3 つの【質問】のコメント合計約 150 項目は、コンクリート構造物の設計・建造や保守・補修の際、実際に検討したり、経験したり、対処したり、しなければならない多種多様な諸問題の収録であると見ることができよう。

このアンケートに寄せられたコメントが、かくも多数で、しかも多様であったことは、「コンクリートの耐久性とは、何ぞや、如何にあるべきか」を議論し、その結果を得ることが、いかにも容易ならざることを暗示しているようである。

コンクリートの耐久性は、巨大で、得体の判然としない怪物かもしれない。

長瀧重義（新潟大学工学部建設学科教授）

(1) アンケートの難しさ(回答者の偏り)

本調査回答者 115 名の内訳は大学 56%，建設会社 12%，官公庁 6%，その他 26% で、大学関係が約半数である。大学の内訳は土木 35，建築 26，化学 3 名で、特にセメントがらみのコンクリートの耐久性に関し化学分野の研究者からの回答が少ないので、その結果の解釈に検討が必要と思われる。またセメント会社関係からの回答の有無が不明だが、いずれにしても再度アンケート調査を行うことが望まれる。

(2) アンケート調査の難しさ(設問の偏り)

各質問に対して、主たる設問は解が明確である。しかし回答者の寄せたコメントの解釈レベルになるとアンケート整理者の意向が加わるので、難しいところである。

(3) 回答結果へのコメント

建設会社、官公庁の全員が全数「はい」で回答しているのは【質問 1, 7, 10】であり、これは現

在でもコンクリートの耐久性が大問題であることを示すと同時に、逆に耐久性に関心がある方が回答してくれたと解釈すべきかも知れない。

これらは大学関係者からも「はい」とする回答が多いが極く少数の先生方を除けば大学関係者が問題と感じてはいても、困ったことあるいは対処しているケースは少ないのでない。

続いて多いのが【質問2, 3, 8】の「はい」であるが、これもコンクリートの耐久性に関心のある方が回答を寄せたと考えれば容易に理解できる傾向である。

最後に集計結果が報告にまとめられていないが、現在のセメントに関しての質問があった。この回答は我が国のセメントについて耐久性関連で日頃感じることがあるかとの質問であったが、意見が半々に分かれていたのは意味深かった。いずれにしてもこの結果を踏まえて、もう一度再調査する機会があればよい。

友澤史紀（東京大学大学院工学系研究科建築学専攻教授）

今回の調査は、大きな項目に対して自由に回答を求めており、回答内容の範囲も耐久性全般にわたり、大小さまざまな項目、意見が提供されている。これは回答者のこれまでの体験や関わった耐久性問題の分野などに影響されているものであろう。およそ、耐久性に関しこれまでに大きな問題になったもの、解決が不十分なもの、新しく考案されたり、提案されている対応策などが調査結果から浮かび上がっていると思われる。

回答数の特に多い項目が、耐久性問題の大きな課題といってよいと考えられるが、結果は大体常識的な、予想されるものであった。その意味では、この結果から新しい情報が得られたとは言い難いように思う。

コンクリートの耐久性問題では、セメントなどの材料に起因する問題、コンクリートの調合・製造・施工に関する問題、鉄筋など補強材との複合材料としての問題、耐久設計というソフトの問題などに大きく分類されると思われるが、従来、問題が個々の現象ごとに取り上げられ、総合的な知識の体系ができていないように思う。全体を体系的にとりまとめて、それぞれの分野や相互関係において、われわれはどこまで分かっているのか、何が分かっていないのか、何が課題なのかなど、問題の整理が十分にできていないのではないだろうか。今回の調査でも、個別的な回答が幅広く寄せられたという感じである。

今後、このような問題の体系的整理が必要であり、さらにコンクリートに期待し得ること、しえないこと、物質としてのセメント硬化体やコンクリートの長期的、超長期的な鉱物的な変性・変質の有無などを明らかにしていくことが重要である。そのような知見をもとに、使用にあたっての耐久設計、維持保全技術を構築していく必要がある。最近、セメント原料やコンクリートに各種の材料が混合されるようになっているが、それらの影響も超長期的視野で予測しなければならない。

個別の劣化現象対応の調査・研究についても、繰り返し同様のことが行われており、知識の系統的な蓄積が不足しているのではないだろうか。材料供給者側と使用者側とで協議・協力する中で、今後のセメント業界でのさらなる取組みを期待したい。

大門正機 (東京工業大学工学部無機材料工学科教授)

無筋コンクリートを見直すべきではないだろうか。コンクリートの耐久性が問題となるのは、多くの場合、コンクリートが補強鉄筋を化学的に保護する役割を担わされていることによる。コンクリートをこの役割から解放すれば、ほとんどの問題が霧消するといつても過言ではない。

特に長期の耐久性を必要とする構造物には、鉄筋コンクリートにこだわらない方がよいと考えられる。無筋コンクリートを構造物に使おうとすれば、アーチ構造などで持たせる必要があるが、かえって「景観」的には喜ばれるのではないか。繊維補強化コンクリート、竹筋コンクリートなどを含めて、材料開発から施工法、構造設計法まで通して、システムティックに技術開発をすべきであると、主張している。

吉田八郎 (太平洋セメント株セメント営業本部営業技術部長)

今回の結果を見ると、コンクリートの耐久性向上に関する関心が依然として高く、コンクリート技術の進歩や社会環境の変化と共に新たな検討が進められていることが分かる。

その一方で、アルカリ骨材反応や塩害に対する新たな被害があると約半数の人が答えている。全体の工事量から見ればごく希なケースと思われるが、施工管理や品質管理の問題も含めコンクリートの耐久性問題の難しさをうかがい知ることができる。

近年、高性能減水剤やビーライトセメント等材料の進歩とともに高流動・高強度コンクリート等の技術普及が進み、コンクリートの耐久性を飛躍的に向上させることが可能になっている。この調査でも約60%の人が新技術の開発により、さらに耐久性を向上させたいと答えており、今後の研究成果が期待される。

また、性能規定への移行に伴う試験・評価の方法、廃棄物の有効利用と耐久性、補修・補強との効果等に関して関心が高い。

社会資本をストックしていく上で、コンクリートは将来にわたり重要な素材であることは言うまでもない。コンクリート構造物が機能をしっかりと維持しながら時間の経過に耐える存在になって行くためには、美的価値の永続性、環境との調和や融合、人々に与える心理的効果等様々な観点からの検討が今後益々重要になると思われるが、その基本になるのが素材としての強度であり耐久性である。

今回の調査は、コンクリート構造物の耐久性に関する検討すべき課題が多種多様にあり、それぞれの分野で研究が着々と進められていること、またその重要性を再確認する上で有意義であったと思われる。

上野一恵 (電気化学工業(株)セメント事業部次長)

調査結果では多種多様な検討すべき課題が挙げられ、それぞれの立場で地道な研究が進められていることが推察される。

これまでにコンクリート構造物の耐久性にかかる劣化要因、劣化メカニズムの全てが解明されている訳ではないが、過去の研究で様々な劣化要因解明とその対処方法が提案され、示方書、仕様書等に取り入れらるべきである。これから建設されるものについては、先ずはこれを構造物の設計、

コンクリート使用材料の選定、配合（調合）、施工、養生等にそれぞれ関与する専門家が充分生かすことがコンクリートの耐久性向上に重要と思われる。

これらの耐久性に関する研究としては、複合劣化等未解決な問題の解決と既存構造物の劣化、損傷度の定量的評価方法（余寿命の推定）並びに補修、補強方法（実施した場合の保証期間）等の確立が待たれる。

さらにコンクリート構造物もメンテナンスフリーでないことをユーザーに認識してもらう努力も必要と思われる。

窪山 潔（三菱マテリアル株）セメント建材事業本部生産技術部副部長

今回の調査結果のコメントを述べるに当たって、セメントコンクリート誌「コンクリートの耐久性」特集号(1972年)を再読した。中味は著名な先生や業界の方々がそれぞれ専門の立場から耐久性について執筆されたもので当時、私の教科書として使わせて頂いた。

特集号の編集方針と今回のアンケート主旨が同じ土俵ではないものの、両者を比較することで最近の時代のキーワードを探ると、①性能規定と②LCAが挙げられる。前者はグローバル・スタンダード社会、後者は資源循環型社会に呼応するものである。

①性能規定化：例えば、コンクリート特性評価のモデル化手法や時間の関数としての機能変化予測手法の開発、及びこれらの成果に基づいた耐久性評価法の確立などが指摘されている。いずれも耐久性設計の体系化に不可欠な技術である。

②LCA：例えば、トータルコスト評価手法の開発、耐用年数との整合性の必要性、リサイクルコンクリートとの関連性などがこの範疇に入る。

今後、このようなコンクリートのソフト面での開発が促進されることを期待し、そのために必要なデータベースの構築にセメント業界の蓄積技術が活用されれば幸いである。

小野義徳（太平洋セメント株）佐倉研究所セメントコンクリート技術センター長

アンケート回答者からいただいた数多くの具体的なコメントを、回答者の所属（分野）ごとに分類・整理したものによると具体的なコメントは多岐にわたっており、耐久性に関する問題・課題は非常に広範に、かつ回答者の立場（所属・分野）によって相違していた。

大学関係の回答者では、凍害、複合劣化、塩害、セメント（の組成）、アルカリ骨材反応、中性化など、具体的な技術課題に対するコメントが多い。これに対して建設会社に所属する回答者が捉える耐久性に関する問題・課題としては、評価方法、工法の選定、基準の整備等への要求が多い。即ち、大学は個々の劣化現象を技術的見地で解明・技術確立しようとする現れと思われ、建設会社は劣化現象に対してどのように防止策を講ずればよいのか、また評価・対処すればよいのかという、いわゆるソフトの充実に対しての要望・コメントが多い。もちろんソフトの充実のためには個々の技術確立が必須であることを認識した上であるが。

このように、それぞれの立場によって耐久性の捉え方が異なるのは、耐久性に係わる技術項目が多岐にわたることとは別に、それぞれの所属（分野）における社会的使命・役割が異なることから当然かつ適正と考えられる。

従って、耐久性に関する課題対処としては、それぞれの分野の専門家が連携し、一体となった取組みが重要と考えられる。

今後、省資源・省エネルギー、リサイクル、環境保全などをキーワードとし新たな耐久性問題・課題が生ずるであろう。このため多様化する個々の技術確立（解明）範囲が広がることへの対処の他、今まで以上に材料、設計、施工のそれぞれの機関の情報公開を含めた連携が必要と思われる。

小林茂広（住友大阪セメント株）セメント・コンクリート研究所副所長

(1) トータルで耐久性を考えるシステムが鋭意検討・実施されている。最初に良いものを造つておけば、供用期間全体を通じて評価するとトータルとしては経済的であることを認識し、初期性能のランクアップを実現したい。また、耐久性に関し設計・材料・施工面での対策が各々規定されている。

この中ですべての対策を実施する必要があるのか、ある対策を採用すれば他は省略できるのか等を整理し、効果期待順位を明示した資料があれば、経済性に優れた高耐久性構造物が、より効率的に実現できるとも考える。

(2) 耐久性評価に関しては、複合劣化の評価がますます重要になる。例えばアルカリ骨材反応に関しては、アルカリ金属イオンの供給源としてセメントの関与は否定しないが、我が国の損傷事例では、未除塩海砂、飛来塩分、融雪剤の関与が認められる。このことは(アルカリ骨材反応の被害)=(ASR)+(塩害)の複合劣化と考えられる。補修対策を確実なものとするには、複合劣化を正確に認識して対処しなければならない。中性化、塩害、ASR、凍害、疲労等が相互に影響しあった複合劣化に対する統計的評価法の確立が必要であろう。

(3) RC構造物において、耐久性上の損傷が生じた部分と構造物全体の関係をいかに区別して、しかも総合的に把握するのが重要課題である。全体に広がる懸念がないのか、現時点では部分的ではあるが、将来は全体に広がる可能性を持つのかを的確に判断しなければならない。この本質を見据えたわかりやすい参考資料が必要となろう。

(4) 補修材料の性能維持期間（耐久性）を明確にして欲しいとの回答も目立った。ぜひ実現したいものだが、これに関しては広範な環境下で使用される補修材料にオールマイティを要求すると、オーバースペックになることが考えられ、コスト上昇が懸念される。このため必要最小限のポイントに絞った品質規定とすることも考慮すべきである。

3.2 まとめ

大塩 明（セメント協会研究所長）

調査結果から読み取れるコンクリートの耐久性に関するキーワードのベスト5は、①評価方法・基準 ②塩害・鉄筋腐食 ③ひび割れ ④補修 ⑤劣化である。

アンケート結果を通して推察されることは回答者一人一人の立場、経験等が反映されるためか、コンクリートの耐久性に関する考え方が極めて多様であることだ。

コンクリートの耐久性をさらに向上しようという研究は意味のこと、コンクリートにひび割れが発生することや鉄筋が錆びることはあたり前で、これらを前提として耐久性を論議すべしといった意見もある。

このことを裏返せば、西澤委員長が指摘のように、コンクリートの耐久性問題は広がりと隔たりが根底にあるため、問題解明が困難なものとなっているということである。

そこで友澤先生が述べられているように、ここで一度コンクリートの耐久性の総合的な知識体系を行い、我々はどこまで分かっているのか、何が分かっていないのか、何が課題なのかななどを整理することが大切である。

最後になるが、土木構造物であれ、建築構造物であれ打ち放しコンクリートの美しさを再認識したいものである。

4. パネルディスカッション「コンクリートの耐久性—将来の社会環境をふまえて—」

アンケート調査結果からコンクリートの耐久性に関する課題は、材料、施工、補修・補強方法や補修後の耐用年数に関する評価方法等と多岐にわたった検討が必要であります、また、アンケート調査結果に対する耐久性専門委員会からのコメントおよび意見から、コンクリートの耐久性とは何ぞや、如何にあるべきかの結果を得ることが困難なものとなってますコンクリートの耐久性についてどこまでわかっているのか、何がわかつてないのか、何が課題なのかなどを整理するなどがありました。

これらのこと踏まえて、1999年2月18日に「コンクリートの耐久性—将来の社会環境をふまえて—」に関するパネルディスカッションを開催しました。このパネルディスカッションの模様ができるだけ各人のお話をされた形でとりまとめました。なお、パネルディスカッションにおける演題、パネラーおよびコーディネーターを表-2に示します。

表-2 パネラーおよびコーディネーター

演題および パネラー	鉄筋コンクリート造建物の耐久設計 柳田 佳寛 宇都宮大学 工学部建設学科建築学講座 教授
	セメントの強さとコンクリートの耐久性 後藤 孝治 太平洋セメント株式会社 佐倉研究所コンクリート化学グループリーダー
	非破壊検査による鉄筋コンクリート構造物の耐久性評価 和美 廣喜 鹿島建設株式会社 技術研究所 第四研究部長
	鉄筋コンクリート構造物の寿命予測 河井 徹 清水建設株式会社 土木本部 技術第一部 副部長
	「セメント系材料の性能による評価」—特に海洋環境下を対象として— 大即 信明 東京工業大学 工学部開発システム工学科 教授
	コンクリートの耐久性を考え直す 河野 広隆 建設省 土木研究所 コンクリート研究室長
	吉田 八郎 太平洋セメント株式会社 セメント営業本部 営業技術部長
	上野 一恵 電気化学工業株式会社 セメント事業部 次長
コーディ ネーター	窪山 潔 三菱マテリアル株式会社 セメント建材事業本部生産技術部副部長
	小野 義徳 太平洋セメント株式会社 佐倉研究所セメントコンクリート技術センター・熊谷センター長

4.1 趣旨説明

西澤委員長 セメント協会の耐久性専門委員会で、2年間コンクリートの耐久性についてディスカッションをしてきました。

土木学会コンクリート標準示方書の規定は、あくまで原則的・平均的なものであって、これらを全部守っても、個々のケースで、いろいろな条件から、コンクリート構造物の耐久性が駄目になってしまふことが多いのです。

私は大学を出て45年経ちますが、その頃の教科書には、「コンクリートは半永久的材料である」ときちつと書いてありました。そしてそこには、コンクリート構造物の特色の一つとして、メンテナンスフリーがあげられていました。これらは、いまや錯覚となってしまったようです。

戦後50年、昔造ったコンクリート構造物は古くなりました。老齢化した構造物に対して、ケアをどうしたらよいか、本日の話題となることでしょう。

阪神大震災では、見事にコンクリート構造物が壊れました。これも、コンクリートの耐久性に関係することです。

コンクリートの耐久性が、セメントあるいはセメント協会のスコープの中だけでは、納まり切れないほど大きいテーマであることを、常々感じてきました。だから、この委員会の最後の仕事として、本日のパネルディスカッションを計画した次第です。

今日、セメント協会は裏方に徹しますので、セメントだけをいじめの対象にすることがないよう、ここに参考いただいた各方面の方々と幅広く議論して頂きたいと思います。よろしくお願いします。

上野（コーディネーター）セメント協会・耐久性専門委員会・吉田幹事長に「コンクリートの耐久性に関するアンケート調査」の結果を報告していただきます。

4.2 アンケート調査結果報告

吉田 この2年間、耐久性専門委員会の活動を行ってきましたが、セメント協会の主催で耐久性のパネルディスカッションを行うことが重要ではないかというご指摘を受けました。そこで、パネルディスカッションのテーマ選定のために皆様にお願いしてアンケート調査を実施させていただきました。

コンクリートの耐久性問題というのは、昔からいつの時代にも大きなテーマとしていろいろな形で検討が進められ、その時代時代に沿った形で新たなテーマを突き詰めて研究していくということが繰り返えされていると思いますが、今回の調査結果でも廃棄物の有効利用の問題、国際化を踏まえたISOとの関連から性能規定化の問題等、社会環境の変化に応じて耐久性に関して新たな検討課題が沢山でてきていることがわかります。

また、耐久性に関して現状で問題になっていることは多岐に渡り、一方では新技術によって更に耐久性を高めるための研究開発が活発に進められていることもわかりました。

この結果を見て、委員会の方にそれぞれコメントを頂いていますので、少し御紹介いたします。西澤先生からは、耐久性は非常に多岐に渡っており、化け物のようなものです。しかし、多岐に渡

つてている問題をどう解決していくか、真剣に議論することが必要であろう。

長瀧先生からは、この調査結果を見て再度調査を行えば更によい整理ができるのではないか。

友澤先生からは、種々の問題を体系的に整理し、その上でセメントコンクリートの超長期的な鉱物的変成・変質等を明らかにして行くことが必要であろう。

大門先生からは、耐久性問題を考えるときにもう一度無筋コンクリートを構造物に活かすということも考えてはどうかという提案も頂いています。

このように、コンクリートの耐久性については、様々な難しい問題を含んでいると思いますが、よりコンクリート構造物の耐久性を高めるために本日のパネルディスカッションが少しでも参考になればと考えております。

上野 それでは早速、耐久性という大きなテーマについてそれぞれの専門分野の一線でご活躍の6名のパネラーの方々に順番に、ご講演していただきます。宜しくお願ひ致します。

4.3 パネラーによる講演

(1) 鉄筋コンクリート造建物の耐久設計

樹田 日本建築学会では、1999年4月から新しい小委員会が発足致します。それは、「鉄筋コンクリート造建物の耐久設計研究小委員会」という名の委員会です。建築学会には、耐久設計について以前「建築物の耐久設計小委員会」という委員会があったのですが、RC造だけでなく木造から鉄骨造まで全ての構造種別について検討することになっていました。しかし、1回も開かれていません閉会してしまいました。建築学会では、以前に「高耐久性鉄筋コンクリート造の設計施工指針」という指針を制定しています。この本は、建設省の総合技術開発プロジェクト、いわゆる総プロですが、その成果をとりまとめたものです。

耐久性に関する総プロは、最初に昭和55年から60年にかけて「建築物の耐久性向上技術開発」が行われ、この中でRC、鉄骨、木造、設備、非構造の耐久性の概念が構築されました。この時、主として行われたものが中性化に対する耐久性設計です。我々は、これを通常「耐久性総プロ」と言っております。

これをやっている頃にコンクリートクライシスの騒ぎがあり、アルカリ骨材反応とか塩害が問題になってきました。そこで、引き続いて土木構造物を含めた「コンクリートの耐久性向上技術開発」という総プロが行われました。

このような建設省の動きと同時に、建築学会ではJASS5(鉄筋コンクリート工事標準仕様書)が改訂されたとき、「高耐久性コンクリート」という節ができて、それを具体化したものが、先ほどの指針なのです。その時にどうやったら高耐久性のコンクリートが得られるかということだったんですが、やはり耐久設計が必要であろうということで最初に耐久設計のことが書かれています。

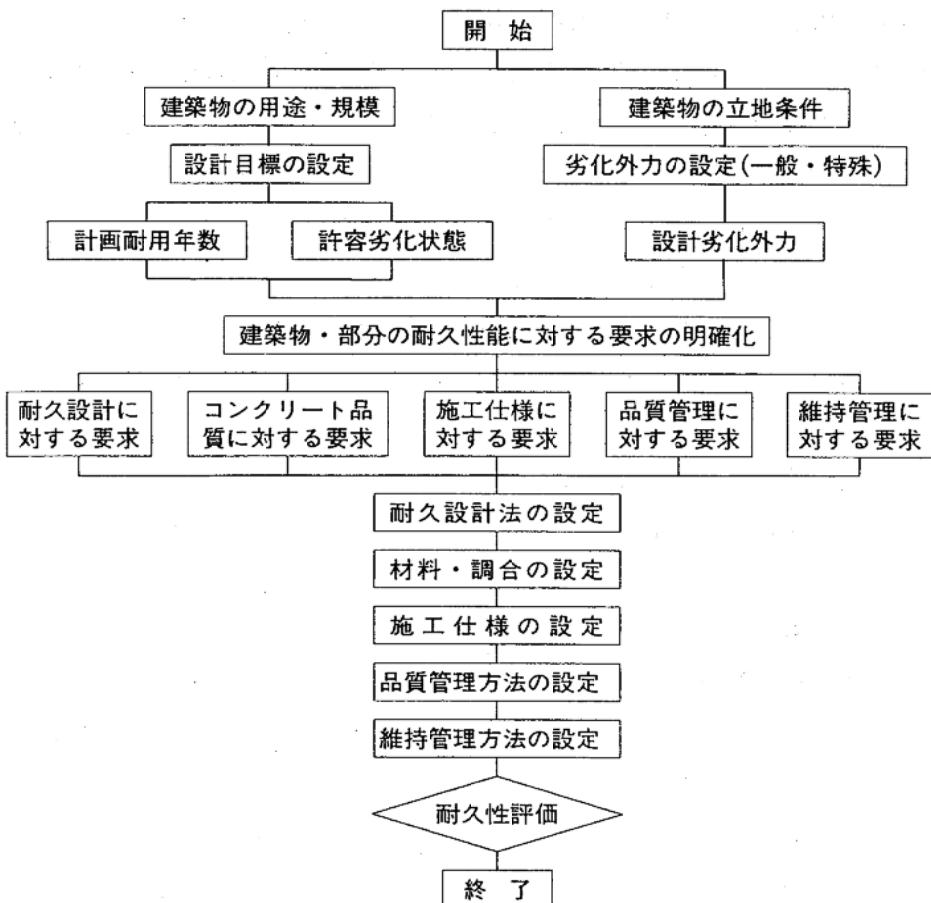


図-1 耐久設計の手順

図-1に耐久設計の手順を示しますが、ここで挙げたのは、耐久設計の目標として設計劣化外力に対して計画耐用年数の期間内は許容劣化状態を越えないということです。また、劣化現象としては、一般的な気象条件によるひび割れの他に、中性化、塩害、凍害などがあげられています。

それぞれについて、表-3に示すように設計劣化外力の種類および劣化外力の作用区分というもので設計劣化外力を規定しています。

表-3 設計劣化外力の作用の区分

種類	区分
中性化	屋内: CO ₂ 0.1%
	屋外: CO ₂ 0.03~0.035%
塩害	重塩害地域: 0m付近
	塩害地域: 50m以内
	準塩害地域: 200m以内
	塩害を考慮しなくてよい地域
凍害	凍害地域: 凍害危険度3以上
	凍害を考慮しなくてよい地域

たとえば、中性化でしたら屋外と屋内でいいのですけれど、塩害についてはまだよくわかっていない。次に計画耐用年数ですけれども、これは高耐久ということですから、一応 100 年としています。

現在 J A S S 5 では、計画耐用年について一般が 30 年、標準が 60 年、長期が 100 年ということが示されている。その期間は、許容される劣化状態を越えないということになっています。たとえば中性化については、本来は中性化による鉄筋の腐食ですから中性化によって鉄筋が錆びるかどうかが問題なのですが、鉄筋が錆びる可能性があるということから、屋外ではかぶり厚さの深さまで中性化していないこと、屋内では乾燥して錆びにくいので、かぶり厚さ +20mm 奥の深さまで中性化していないということを目標としています。このあたりは建築ではほぼ合意に達しています。

ところが塩害については一応、塩分の総量規制の $300\text{g}/\text{m}^3$ という値があるのですが、とてもこの数値では許容劣化状態を規定できないということです。このあたりは今後、建築学会でいろいろと議論されて決められるものと思います。

以上のように建築の分野での耐久設計は、中性化に関してだいたいできているのですけれど、逆にそれ以外の劣化現象についてはほとんど対応できていないというのも事実かと思います。

先ほど性能の話が出たのですが、建築の場合には躯体の耐久性がだめだから壊したということは、ほとんどないと思います。後のパネルディスカッションの議論で建物の耐久設計に活かせるものが得られればと思います。建築物がどのような状態になったら、「寿命が来たんだ」という、そのあたりを今後、議論して詰めて行く必要だと思います。以上、建築の分野における耐久設計の現状についてお話を申し上げました。

(2) セメントの強さとコンクリートの耐久性

後藤 セメントの強さとコンクリートの耐久性については、あまり日本では研究されていないということで、その辺から説明させていただきます。

セメントに要求される耐久性、これは大きく 2 つに分けられると思います。一つ目は、セメントの本来もっている耐久性、例えば硫酸塩性抵抗性を持つ耐硫酸塩ポルトランドセメントがあるというように、セメント自身が本来もっている耐久性の性質があります。もう一つは、コンクリートの耐久性に対して適切な性能を持つセメントです。セメントとコンクリートの耐久性を考える場合、要は「優れた品質のコンクリートを作るには、どのようなセメントが必要か」という視点が大事になると思います。

コンクリートの耐久性を良くするセメントということで、表-4に示すようにアンケート調査をまとめたものを紹介しますと、セメントに対する期待は新しいセメントの開発というものがあります。

表-4 コンクリートの耐久性を良くするセメント
アンケート調査結果のまとめ

項目	コメント	人数
新しいセメントの開発	高耐久性セメントの開発	1
	体積変化の少ないセメント	7
	単位水量の少ないセメント (粗粒セメント)	1 4
	強さを重視しすぎていないか	7
現在のセメントに対する意見	耐久性と化学組成、粉末度、混和材との関係	4

この中では、体積変化が少ないセメントということがかなり多くいわれています。もう一つは単位水量の少ないセメントということで、粗粒セメントのような新しいセメントを作りたいというようなアンケート調査結果になっています。現在のセメントに対する意見では、強さを重要視しすぎていないかということ、また耐久性と化学組成、粉末度、混和材の関係について研究して欲しいとなっています。これらの意見をまとめますとセメントの強さを重要視し過ぎてるとのこと、粗粒セメントも1つの方向性ではないかと、アンケートから読み取れます。

現在の日本のセメントは強度が高いといわれています。ISOとの整合化にも関わりますけれど、ヨーロッパ規格では強度クラスがあるのは皆さんご存知だと思います。ヨーロッパ規格はまだ予備規格の段階ですが、セメント規格としては28日強度で普通強度、高強度、超高強度があり、28日圧縮強度で32.5から52.5N/mm²の32.5クラス、42.5から62.5N/mm²の42.5クラス、52.5N/mm²以上の52.5クラス、それにそれぞれ早強タイプがありまして合計6種類です。

日本の市販のセメントは、早強ポルトランドセメントでは52.5クラスに相当します。普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種でも28日で60N/mm²程度の強さですので52.5クラスに入れてもおかしくありません。

ヨーロッパのセメント規格で規定されている組成は、どういう種類があるかを紹介します。セメントの規格としてはポルトランドセメント、ポルトランド混合セメント、高炉スラグセメント、ポゾランセメント、混合セメントの5種類それにポゾラン、フライアッシュ、スラグ等があって合計27種類、さらに理屈上は、先ほどの強度クラスを合わせると162種類のセメントができるという形になります。実際にはヨーロッパでそれほどの多品質が造られている訳ではありません。

それでは、実際にヨーロッパでどんな強度のセメントが使われているかというと、EN15か国の1996年における実績の強度ベースで分類すると最も多いのが32.5クラスでそれが全体の半分以上を占めています。その32.5クラスの中ではポルトランド混合セメントが大半を占めています。42.5、

52.5 クラスになるにつれて CEM I という混合材の入っていないセメントが増えます。

このように、ざっと全体を見ても混合材の入っていないセメントよりも混合セメントが多いというのがヨーロッパの現状です。実際の使われ方としては、52.5 クラスのセメントは製品用が多くて、生コン用途では 32.5 クラスが多いと聞いております。

先ほどのデータはヨーロッパ全体ですが実は国によって特徴がありまして、ドイツとフランスの例ですがドイツでは CEM I の純粋ポルトランドセメントの 32.5 クラスが一番多く、3/4 が純粋なポルトランドセメントで占めています。それに対してフランスもやはり 32.5 クラスが多いのですが、それは殆ど CEM II という混合ポルトランドセメントが多く、フィラーセメントなどの石灰石混合型のポルトランドセメントのウエイトが高くなっています。このように、各国それぞれの事情によって、造られているセメントもかなり違っています。

JIS と ISOとの整合化ということで、日本でも 32.5 クラスのセメントを造る必要があるかどうかはこれから議論していかなければならぬと思いますが、32.5 クラスを日本で造るとしたらどうなるかということを考えてみます。ドイツ型の CEM I という純粋ポルトランドセメントを造るか、フランス型の CEM II という混合ポルトランドセメントを造るかにもよりますが、耐久性に対する性質が同じ強度の 32.5 クラスでも同じか違うかの議論を進めていかなければならぬと思います。

個人的には、32.5 クラスにして少なくともセメント量を増加したり、あるいは水セメント比を小さくすることは決して間違っている方向ではないと思いますが、同じ 32.5 クラスを造るにしても耐久性への影響を見極めることが不可欠です。

32.5 クラスのセメントは、今や日本には殆ど見つからないので、昔のデータを拾ってみたのですけれど図-2 は皆さんご存知の「コンクリートの長期耐久性、小樽港 100 年耐久性試験に学ぶ」に示されている 1900 年代初頭からの普通ポルトランドセメントの品質の推移データです。なお、圧縮強さは換算係数 1.42 を掛けて現行 JIS の圧縮強さにしています。

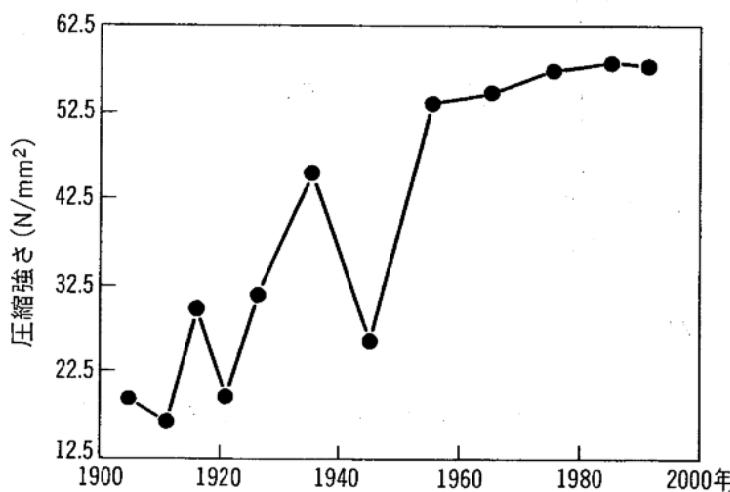


図-2 セメントの品質推移「コンクリートの長期耐久性」より

ここ100年間で強度が20から60N/mm²近くまで上がっています。一方、組成面ではどうかということですが、C₃Sについては、1930年代から50%ぐらいでそれほど変わっていません。それから粗粒セメントが良いのではないかという考え方の裏付けになるかと思いますが、1900年頃は88μm残分で30%に近く、210μmは今の90μmとほぼ同じ量です。現在は、昔に比べて粒度の大きいほうだけ見ますとセメントの粒子の大きさは半分になっているのが現状です。このように、かなり粗いセメントで造られたコンクリートが、小樽港北防波堤のように100年以上たった今でもまだ健全なコンクリートとして役割を果たしています。このことをふまえて、これから先、日本のセメント規格をどうしたらよいかを考えていく必要があると思います。

セメント規格のことを中心に今日は述べましたけれど、コンクリートの耐久性を考慮するとセメントはどう変わるべきかという話があると思いますけれど私の考えとしては、まだデータがないのでなんともいえないということで、そのためにもセメント関係者、コンクリート関係者が一緒にになって地道にデータを蓄積することが必要だと考えております。

(3) 非破壊検査による鉄筋コンクリート構造物の耐久性評価

和美 構造物の耐久性を評価するためには、構造物の現状の性能をどう評価するかが重要であり、その結果に基づいて今後の耐久性を評価することが必要あります。10年前に、中性化と鉄筋のかぶり厚さとの関係から鉄筋の腐食を評価するために写真-1に示すような配筋検査器を開発しました。これを耐久性の評価に使ってみた例を紹介します。

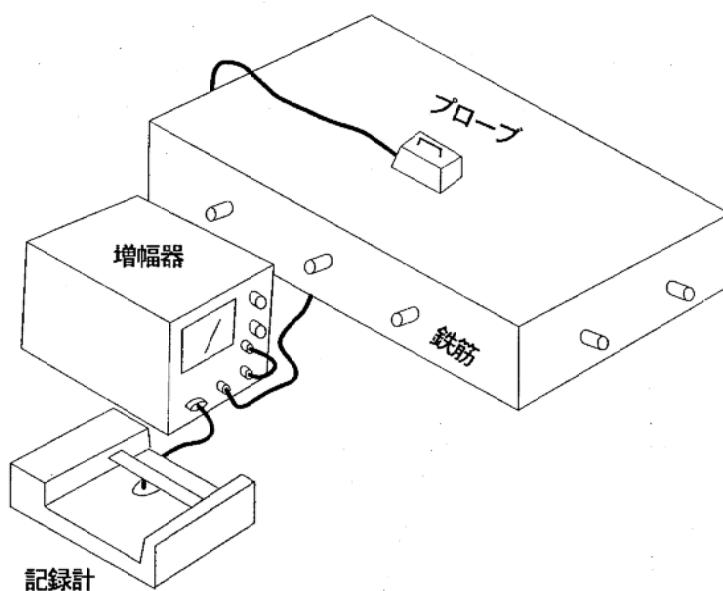


写真-1 コンクリート構造物の非破壊鉄筋検査装置

ご承知のように、鉄筋コンクリート構造物の劣化というのはたくさんある要因があります。コンクリートの中性化によって鉄筋が腐食してかぶりコンクリートを剥離させてしまいます。このようにな

つてしまふと、その耐久性というのは感覚的に評価できるのですが、まだ鉄筋の腐食が表面に出てこない状況がしばしばあります。コンクリートの中性化は年を経てどんどん鉄筋の位置まで近づいていきます。そして中性化が鉄筋の位置に到達すれば鉄筋は錆びてきます。

これを評価するために非破壊検査器を使いました。開発した検査器は、金属分野で使っている過流探傷装置を利用したもので、プローブに電流を流すと磁界分布ができます。その磁界の中に鉄筋がありますと、鉄筋に渦電流が流れ、それをキャッチすることによって鉄筋の径、かぶり厚さ、それから位置が一瞬のうちにわかります。プローブをコンクリート面に沿って移動しますと、CRTに図-3のような波形が出ます。

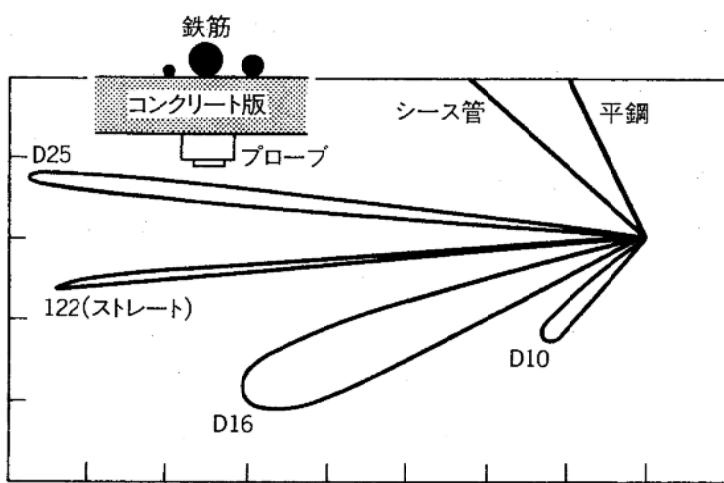


図-3 鉄筋の形状と種類による波形の変動

この波形の角度と振幅で鉄筋のかぶり厚さと径を知ることができます。また、この波形の形状によって鉄筋の種類もわかります。鉄筋の径ごとのかぶり厚さと鉄筋の径についての検量線は、非常に精度良くなっています。従来の市販品ですと大体50mmぐらいの深さまでしか信頼性が無かったのですが、この装置では大体180mmまで非常に良い関係が得られています。

この検査器を用いて、建築後の20年ほど経過した構造物の耐久性をかぶり厚さと中性化で評価した結果が、図-4です。

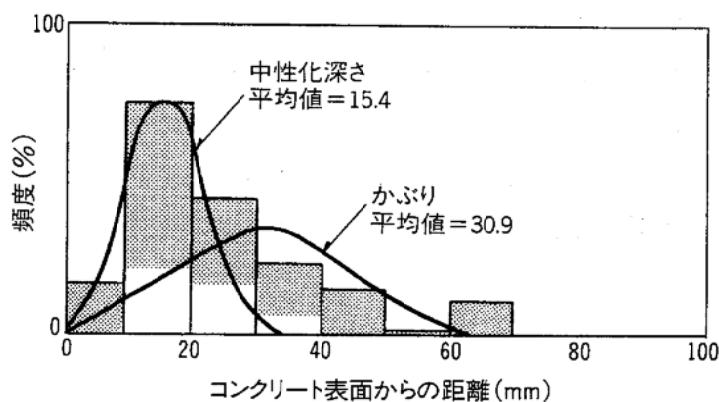


図-4 中性化深さと測定システムによるかぶりの分布

鉄筋のかぶり厚さを測ってみると図のような分布になっており、平均かぶり厚さが30.9mmです。それから、中性化の分布も図のようになっており、平均中性化深さが15.4mmです。これらの関係から腐食確率が求まります。これらから、建物ごとの寿命を予測することが可能となるわけです。

(4) 鉄筋コンクリート構造物の寿命予測

河井 日本のコンクリートの社会環境を考えますと、今後は、新設構造物だけでなく維持管理あるいは補修というものがかなり大きなウエイトを占めてくると思います。それにはやはり、コンクリート構造物の寿命予測が必要になると思います。コンクリートの劣化の要因はいろいろありますが、鉄筋が腐食して寿命に達する塩害、それから「非破壊検査による鉄筋コンクリート構造物の耐久性評価」で報告がありました中性化、また、コンクリートが劣化して寿命が来るものとして凍害とかアルカリ骨材反応があると思います。これらのうち、中性化と塩害に関してはかなり寿命予測もできています。

そこでここでは、塩害を受けたコンクリートのLCCすなわちライフサイクルコストを試算しましたのでその報告をさせていただきます。それと、アルカリ骨材反応を受けたコンクリートの寿命予測について一例を紹介させて頂きます。それでは一番目の塩害を受けたコンクリートの寿命予測です。算定の条件をコンクリートの表面積が2000m²、コンクリートの水セメント比が60~65%、鉄筋径が32mm、鉄筋のかぶり厚さが約6cm、物価上昇率が1.5%/年とします。表面の塩化物イオンの濃度が6.8kg/m³前後のものの場合、時間経過と共にどのくらい浸透していくかを計算すると5年で約10cm、10年で約15cm、30年で約19cm、50年で約23cmとだんだん浸透しております。それから、鉄筋の腐食確率の分布ですが、表面の塩化物イオンの濃度が1.2kg/m³程度が発錆の限界であろうと仮定します。また、塩化物イオンの濃度はかぶり厚さ6cmが中心で正規分布しているとして、先ほどの塩化物イオン量の浸透とかぶり厚さから計算をしますと、例えばかぶり厚さ6cmぐらいのところですと、5年後には腐食確率0.1弱ということになり、かぶり厚さ5cmぐらいですと10年後に大体半分程度腐食するということになります。この二つを積分して全体の鉄筋の腐食発生率を計算で求めた結果、表面の塩化物イオンの濃度が7kg/m³程度の場合に15年で腐食率は、0.5ぐらいになります。また、3kg/m³の場合にはかなり経ってから腐食します。これらを踏まえて、ライフサイクルコストがどうなるかを計算してみた結果が図-5です。

ここでは、新設の設計費とか建設費は入れておらず、竣工後の総補修費を入れています。補修費は、いろいろな補修方法がありますので、腐食の発生率から補修数量を算定して、各種の工法で試算してみました。補修年限は、実際には5年、10年というのはあまり無いと思いますが、一応5年毎に補修するという仮定で、10年に一回程度表面のウレタンを塗り替えるとか、電気防食とか、10~20年に一回配管等を取り替えるとか、考えられる因子を入力します。

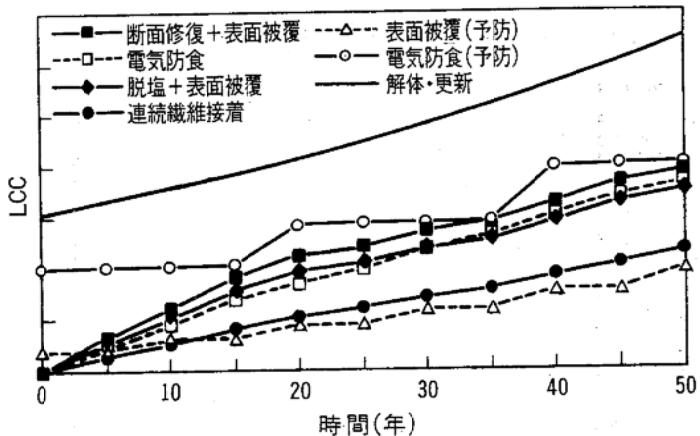


図-5 ライフサイクルコストの算定結果

図-5で一番低くなっている△印が表面被覆による予防保全でして、新設時に表面を被覆してしまうというものです。もう一つの予防は○印の電気防食で、はじめから予防しておけば絶対腐食が起きないということで、10年、20年に一回架け替える或いは電気代がかかる等のもので描いた曲線、それ以外のものは5年或いは10年毎に検査をして、先ほどの腐食確率から腐食したところだけを補修していくという例です。このような考え方で、ケースバイケースで計算していくべきライフサイクルコストが求められるという提案です。

次にアルカリ骨材反応の予測ですが、アルカリ骨材反応は、構造物によって劣化が全く異なりますので非常に難しいのですが、大胆な仮定をして劣化限度というものを決めました。限度としましては、アルカリ骨材反応による過大な膨張に起因する変形とか変位が劣化の限度になる場合は検討しない。それは構造物の条件によって違いますので、それからコンクリートにひび割れが入った場合、コンクリートの力学的特性は大幅に低下するのですがRC部材として計算しますと耐力は殆ど落ちていないということで、ひび割れが入るということも限界状態にはならないと判断します。

そこで、このことを前提に、ひび割れが入ってこのひび割れが原因で鉄筋が腐食する腐食先行型劣化の限度を設定しました。即ち、反応性の骨材を全然使わないものやアルカリ度が非常に低い場合は別として、膨張が劣化限度にならないで、ひび割れによる鉄筋腐食で寿命が決まるものに対してどうするか。

ここで魚本先生と古沢さんと大賀先生の提案されたUFOモデルを使用します。そのモデルによると膨張時期とか膨張率の推定ができます。その膨張率を使用して、コンクリートのヤング係数と鉄筋量の方から拘束による低減係数というものを考慮しますと、〔鉄筋近傍の膨張歪み=ひび割れ数×本数〕ということで、拘束度が主筋の方が強いということで、仮に主筋間隔ごとにひび割れが入ると仮定しますと、ひび割れ幅が算定できるということになります。

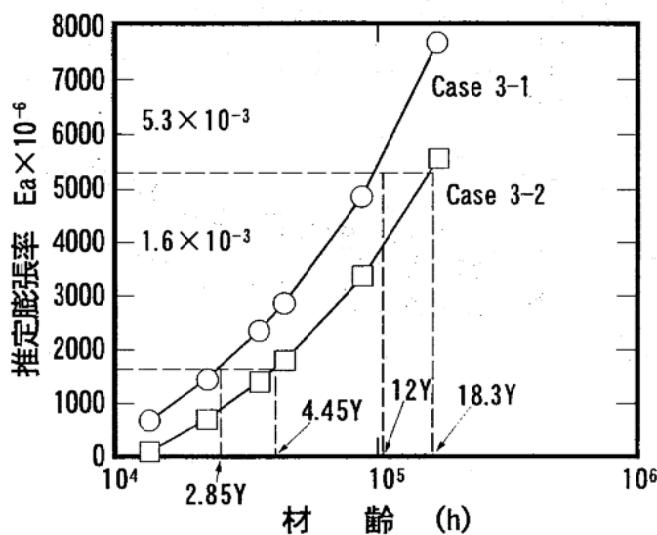


図-6 材齢と推定膨張率E aとの関係

図-6が試算をした一例ですが、有害な推定膨張率に達するのが3年とか18年ぐらいで有害なひび割れが発生して、これが限度であろうということになります。

凍害も難しいのですが、コンクリートが剥落したときを限界と仮定しますと、コンクリートそのものの劣化が起きて引張強度がほぼゼロになる時を限度ということになります。それを凍結融解の試験結果から推定する訳ですが、試験のサイクルと温度や湿潤などの条件でずいぶん違ってきます。一般的にいえば、耐久性指数が高いものは、何年経っても凍害にはやられないことになります。凍結融解試験をA S T M C 666のような厳しい試験方法で行った結果、耐久性指数が60に達していないとしても、試験サイクルが100回とか40回で劣化するものでも、実際にはある程度もつものもあるわけで、こういう場合には寿命予測を細かくしてみる価値があるのです。

(5) 「セメント系材料の性能による評価」—特に海洋環境下を対象として—

大即 現在のスペックは、土木も建築も項目規定が多いのですが、将来は恐らく性能による評価が主流となってくると思います。そうなると、耐久性によって定まっています項目規定は、当然その環境によって違ってくると思います。今までにもこれに類するような話は沢山あったわけですが、性能で評価、耐久性設計、それから河井さんがご発表なさいましたライフサイクルコスト等が前面に出てくると、更に今まで使えなかった材料が使えるだろうし、今まで使えていた材料もある局面では使えないという可能性がかなり高まると思います。そうしますとどう考えるかですが、これが実はまだ定まっていないということです。

先ほど榎田先生が塩分の総量規制を300g/m³で規定するのはいかがなものかというニュアンスで話をされました。RC 300g/m³を厳密に守ると特に海洋構造物では大変なことになります。つまり、劣化の限界状態を飛沫部、干満部、海中部などの条件や景観への注文などに分けて、①塩化物イオ

ン量 300g/m^3 , ②不動態の破壊, ③ひび割れの発生, ④部材体力の低下のどれにするかといったことを考へる必要がでてきます。図7と図8は実はセメント協会が測定したといいますか、私が昔運輸省港湾技術研究所にいるときに茨城県鹿島港から一辺が $120 \times 120\text{cm}$ の立方体のコンクリートブロックを採取してきて材齢は約15年ですが、これを分析したところコンクリートに浸透した塩化物イオン量がかぶり5cmで 10kg/m^3 ぐらい、かぶり10cmで荒っぽく言いますと 3kg/m^3 以上、かぶり50cmでも 300g/m^3 ぎりぎりということです。

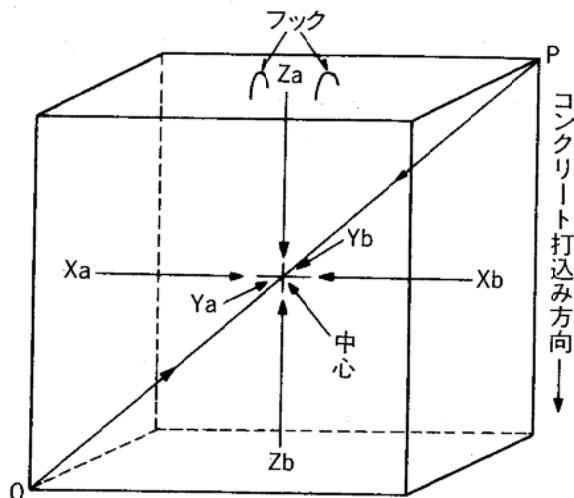


図-7 化学的試験用試料の系列別試料採取位置

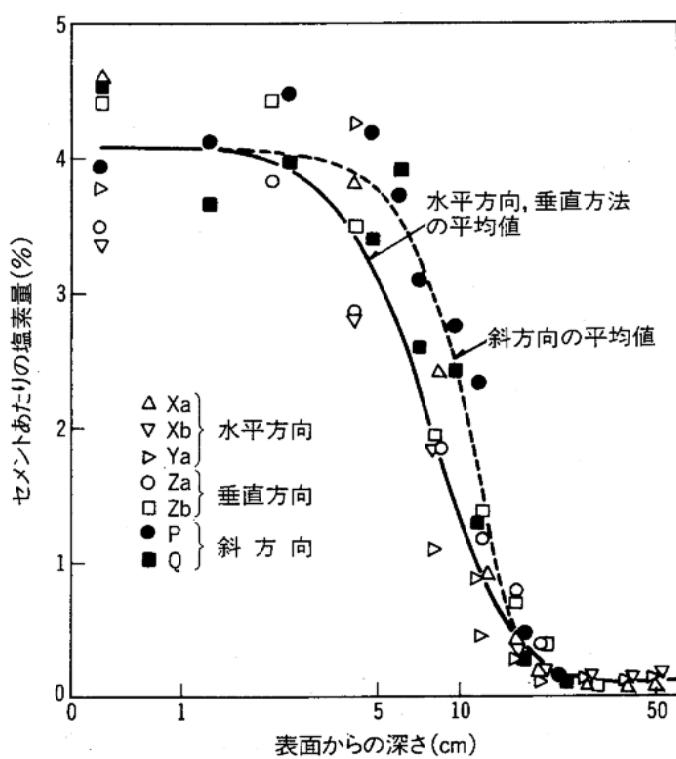


図-8 コンクリート塊中の塩素量

すなわち①の条件を使いますと 15 年経ちますと港湾にあるあらゆる構造物は使えないということになります。そうしますとどう考えるかということですが、これが実は定まっていないということとして、例えば本当に $300\text{g}/\text{m}^3$ の規定を使うということになれば、今あるセメントは使えないということになるわけです。その次の劣化限界状態をどう考えるかによって非常に違ってくるわけです。そのため、塩化物が不動態を破壊するというようなところをポイントにします。これは例えば河井さんが言われた $1.2\text{g}/\text{m}^3$ とか私や宮川先生の $2\text{kg}/\text{m}^3$ とかいろいろ違った値が出てきます。また、具体的な現象として、ひび割れが発生したときとか、部材の耐力が低下したときとかいろいろなケースが考えられるわけですが、これらの個々について検討致しましたので更に紹介致します。今の①の条件の場合に相当する値、つまり $300\text{g}/\text{m}^3$ ということでいきますと、運輸省港湾技術研究所の濱田さんが計算している例等がありますが、普通ポルトランドセメントだとあまり 5cm でいくら頑張っても数年、鋼構造物だと拡散係数が $1/10$ なので 10 年程度ということで、この基準だとセメント系は使えないことになります。

表-5 塩素イオン量と不動態の存在

モルタル重量に対する塩素イオン量(%) (平均値)	≤ 0.075	$0.075 < \leq 0.125$	$0.125 < \leq 0.175$	$0.175 < \leq 0.225$	$0.225 < \leq 0.275$	$0.275 < \leq 0.325$	$0.325 < \leq 0.375$	$0.375 < \leq 0.425$	$0.425 <$
不動態を有する供試体の比率(%)	95	83	82	47	46	52	42	21	4

②の条件の場合、確率の問題で、私が博士論文のときに研究したデータを出しますと、表-5に示すように確率分布しています。モルタルで検討しているので少しあわかりづらいと思いますが、大雑把にいいますと、塩素イオン量 $600\sim 700\text{g}/\text{m}^3$ で不動態を有する可能性が 95% です。だから $300\text{g}/\text{m}^3$ ですと殆ど錆びないという状況で非常に良いわけです。河井さんが先ほど腐食確率について言われたのが私の場合だと $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ に相当しますが、不動態を有する確立が 82% つまり 2 割ぐらいの腐食確率となります。先ほど私が申しました $2\text{kg}/\text{m}^3$ というのは不動態を有する確立が大体 50% ということで、これが普通ポルトランドセメントを用いた場合のデータです。これは普通ポルトランドセメントに対するもので、高炉セメント B 種を用いるとどうなるか、また他の混合セメントを用いるとどうなるかという研究は、私の知る限り無いので恐らくいろいろなセメントを用いると、この確率がいろいろ変わってくると思います。この研究を積み上げれば、あるセメントは不動態を有する確率がどのくらいということがわかり、それに応じて使用者が不動態を有する確率を 20% で良いとか、50% で良いとか 95% でなければ駄目とか選んでもらい、その時にどのくらいまで塩化物イオンが浸透すれば、良いというようなことで、計算ができるわけです。ですからそれによって何処を劣化限界状態とするかによって、それぞれ寿命も変わってきて使える材料も変わってくるということ

とになるかと思います。

③の条件の場合ですと例えば海中部ですと恐らく塩化物イオンがどんどん浸入するので諦めることにすれば、問題になるのは酸素の量ですので、むしろ塩化物の浸透性よりも酸素拡散係数が重要になってきます。だから、技術開発するとなれば酸素拡散係数をどうするかという話になつてきて、これはまだあまり研究が進んでいなく私の調べた範囲では水セメント比と酸素拡散係数の関係を調べたものがあって、含水率が高くなると酸素拡散係数が、非常に小さくなるというようなデータしかなくて、あまり研究がありません。もし、海中で酸素拡散係数で決まるということになれば、きちんと今から酸素拡散係数のデータを取って、どんなセメントが良いというような話をしていくけば、また新たな技術開発というか寿命算定ができるのではないかと考えます。

(6) コンクリートの耐久性をとらえ直す

河野 今まで皆さん発表されたのは、どちらかといいますと研究者の立場からお話になっているのではないかと思います。私は、「構造物は、どのくらい耐久性がなければ行政が困るか」ということでお話させていただきたいと思います。まず、「橋はなぜ取り替えられるか」についてですが、実は、皆さん耐久性耐久性とよく言われるんですけど、建設省の中だけで見ますと、コンクリート構造物が実際に耐久性上問題があつてあるいは構造物として物理的に問題があつて取り替えられるというのは、殆ど橋なのです。橋以外の構造物で補修を行うとかいうのはわりと少なくて、橋を何とかすれば構造物は何とかなると私は思っておりまして、そういう意味で橋を例にお話させていただきます。

特に長い橋はわりと鋼製の橋が多いんですが、地方公共団体等に行きますとPC橋が多いんです。ところが上部工の損傷による架け替えの変遷を見てみると、架け替え全体の中でPC橋の損傷による架け替えというのは、昭和52年で4.6%、62年で5.6%だったのが、平成8年には6.5%ということで、ずっと増えてきているのですが、一方鋼製の方は減少しています。このように、どんどんPCで問題あるものが表面化しています。

ここで、50年以上供用された橋の数の予想をみると、大体2005年辺りから沢山出てきます。例えば50年の寿命で橋を造ってしまいますと、現在日本に13万橋ぐらい15mを越える橋があるんですが、毎年2600橋架け替えなければならなくなります。この理屈どうりだとすれば、新設構造物ができなくなってしまうということです。

橋の補修に関しては、比較的軽症のうちに補修すると再劣化しません。ところが、重症になってからいくら補修しても治らなくなります。ですから、メンテナンスフリーということを考え直さなければいけないということだと思います。そこで、我々が今提案しているのは、メンテナンスフリーではなく、「ミニマムメンテナンス」でいこうということです。山間部で200年使えるような橋を造るにはどうしたら良いか、思いがけず今現在の設計でももつかもしれません。一方、沿岸部で200年もたせるにはどうしたら良いか、これは結構ハイレベルのことをやらなければいけないと思います。実は鋼製の橋梁では既にこういった取り組みを考えておりまして、成果をPRするパンフレットもできています。このまま手を拱いていると性能規定化の重要な要素として責任というのがあり

まして、何年使えるかということを証明しないと使ってもらえないことになります。

性能規定化の重要な要素としてアカウンタビリティーという考え方があります。「何年は大丈夫です」と、きちんと保証してやらないとその材料は今後は使ってもらえなくなるかもしれません。

こうした中で、平成12~13年に向けて『道路橋仕様書』を改訂しようとしています。大きな柱が4つあります。①国際化への対応としてISOがらみで性能規定化、②構造物の多様化への対応、複合構造物への対応、③が重要なところなんですが、維持管理、耐久性を重視したものにしようとすることで、ここにライフサイクルコストの考えを入れて、例えば塩害地域ではどんな技術で良いものができるか、④はコスト縮減です。これらのベースになるのが性能証査型の基準で、この性能証査型を活かすためには限界状態で考えた方が取り組みやすいですから、性能証査型で限界状態設計法を組み合わせた技術基準をここ数年で作成していくことで動いております。

4.4 ディスカッション

(1) 耐久性設計の視点

小野（コーディネーター）

それでは、パネラーの皆様のご講演を踏まえてディスカッションに入りたいと思います。討議の論点を（1）耐久性設計、（2）耐久性の評価、診断、（3）材料、（4）新材料、新技術の今後の動向の4つのブロックに分けて、皆様方の活発なご意見、ご討議をお願いします。

1つ目の耐久性設計という観点につきましては、榎田先生、河野室長のお話にありましたようなことを足がかりに皆様のご討議をお願いします。先ほどの性能規定についてのお話の中で、性能を証明していかなければならない、つまりアカウンタビリティーという考え方のお話がありましたが、それについて更に具体的なお考えがございましたらお願いします。

河野 私自身が明確な答えを持っている訳ではないのですが、少し話題を提供したいと思います。実は性能の中に耐久性が入るかどうかという議論を今土木学会で行っています。材料屋さんから見ると、材料の中に耐久性という性能はあるという感覚を当然のこととして持っているのですが、構造屋さんから見ると耐久性という性能は無いという意見が多くあります。すなわち、耐火性とか使用性とかそういうものが長時間変わらないというのが耐久性であって、耐久性という独立した性能は無いということを多くの方がおっしゃっています。これについては、私も今のところ非常にわからなくなっています。この辺については河井さんも議論の中に参加して頂いていますので何かあればお願いします。

河井 今の構造屋さんに耐久性という性能が無いというお話についてですが、設計の段階で当然耐久性を見るべきであろうというのがゼネコンサイドの技術者の考え方だと思います。設計の段階で使用性、強度、耐久性を見るべきだと思いますし、構造設計だけでなく、同時に耐久性設計も合わせて実施していくないと性能規定になりにくいのではないかと私は思っています。

小野 そういう中で、榎田先生は先ほど塩素の扱いが難しいとおっしゃっていました、塩害の程度を定量化して示すことが難しいために、規格や基準類が整備しにくくなり、そのため耐久性とは何かということになるのではないかという気がするのですが、そういう観点で何かご意見があればお願いします。

榎田 建築には、いろいろな設計を行うのですが、その中で必ず意匠設計があります。建築では、意匠屋さんが一番力を持っていまして、それから構造設計、設備設計があります。では耐久性設計はどうかというと誰も行っていないというのが現状です。先ほど、土木の方で言われた「耐久性という性能は無い」ということと通じているような感じがします。

先ほど塩害について難しいという話をしたのですが、それは耐久設計を組上げていく上で中性化のように限界状態についての合意が得られていないということです。塩害については、鉄筋の位置での塩化物量をどのように規定するのが良いのか、腐食する限界をどう規定するかということがまだ難しいのかなという感じがします。

西澤 河野さんに反論するわけではないのですが、構造設計にも耐久性の機能はあると考えます。P C橋で、ポストテンションとプレテンション方式のどちらを選ぶかの例についてお話しします。ポ

ストテンション方式では、シース管の中のPC鋼材を引張って、その周りに後でセメントミルクを注入します。このグラウト工法に欠陥があると、これが原因で、特に海岸ではPC鋼材が錆びてしまう例が多くあります。そこで、ポストテンションをやめて、プレテンションを採用すべし、との意見もでてきました。

プレテンション方式では、あらかじめPC鋼材を引張っておいて、その周りにコンクリートを直接打ちますので、このコンクリートの耐久性が優れていれば、この橋の耐久性も期待できることになります。

もう一つの選択は、橋の断面の外に配置したPC鋼材を引張るアウトケーブル方式の採用です。鋼材は被覆してあるので錆びないし、引張り直せば構造上の補強も可能なので寿命も延ばせます。

このように、構造システムの選択をするとき、耐久性を考慮し、検討すべきであると考えます。

河野 私は材料屋ですから、耐久性という独立した概念があると思っているのですが、いま議論になっていますのは、コンクリートの性能をいつ設定するかということなのです。

我々がコンクリートを材料として見た時、その性能の尺度は施工性、力学特性、耐久性がありますという話になります。材料屋からみるとこういう切り口がわかりやすくてよいのです。この切り口でそれぞれの性能設定の時期を考えてみると、施工性は、当然、施工時です。力学特性になると竣工時か30年後か或いは100年後でしょうか、耐久性となるとこれをどのように設定するのかとなるわけです。そういう意味で、性能規定化した時に耐久性という性能がなかなか設定しづらくなっています。一方で、力学特性が100年後も満足されるとか、構造部材として鉄筋とコンクリートが一体として挙動するという力学特性が100年後も満足されるというのが耐久性であって、耐久性そのものを規定化するというのはどういうことなのかという議論です。材料屋からみると、そういうところは、比較的簡単に例えば、鉄筋表面の塩分をいくつに抑えましょう、とかいったアプローチができると思うのですが、構造の方からみるとそれは実際には何の意味も無くて、コンクリートと鉄筋が一体化して挙動するかどうか、ということの方が大事な訳です。そういう意味で構造の方ではこういう性能項目では耐久性を設定しづらいということです。先生のおっしゃることは私材料屋ですからよくわかりますが。

友澤 今の議論は耐久性の本質的な議論だと思います。確かに構造設計をする人たちは最近でこそ耐久性ということを言い出したのですが、以前は耐久性は自分たちの仕事でないと思っていたと思います。

いろいろ考えますと、耐久性だけは時間軸で考える問題なんですね。その他の性能は時間という概念は入ってなくて、例えば力学性能も耐震性というのは地震が来た時にどういう応答をするかということが耐震性ですし、構造特性も同じで荷重が載った時にどういう変形をするかということが構造特性になるわけで、そこには時間の概念がはいっていないのです。なぜ耐久性がわかりにくいかというと時間の概念が入っているのでわかりにくい。これは別な言葉でいうと、耐久性というのは4次元の世界なんですね。他の性能は皆3次元の世界で、我々は3次元の世界は理解し易いけれど4次元の世界はわかりにくい。だから、耐久性というのは他の性能とは次元を異にするワンランク上の事柄だと思います。

耐久性とは他の性能の経時変化を守る性能ですが、その耐久性自身も時間とともに変化していきます。その辺をきちんと区別して考えないと、なかなか頭が整理できないのではないかと思います。

小野 時間の概念ということのほかに耐久性を捉える上での私の個人的意見ですが、劣化要因に対する個々の技術的解明が不足しているのではないかと思います。私、セメント屋に身を置く立場でセメントの品質保証を考えますと、セメントの J I S 或いは生コンの規格・基準類をクリアしていればよいだろうと、漠然とした気持ちから劣化要因に対する本質的な技術検討が少ないのでかな、という反省もあります。

そのような観点で樹田先生に度々で恐縮ですが、建築学会が総プロの流れを受けていろいろな規準を制定してきた中で、先ほど耐用年数 30 年、60 年、100 年というようなお話をありました。それについての動向、将来このようになるというようなお話をいただけませんか。

樹田 将来こんなふうになるというのはなかなか難しく、前に述べた計画耐用年数が 30 年、60 年、100 年と異なる目標を設定するのは難しいと思います。要するに限界状態の問題だと思うのですが、中性化したからただちにダメだというわけではありません。しかし、耐久設計の場合は、目標として鉄筋の位置まで中性化しないということを目標に設計するということですから、その限界状態を何処に設定するかということと具体的にどうなるかというのとは、本来連動しているのですが設計する上では別に考える必要があるかと思います。

塩分について言えば、鉄筋の位置で総量規制の $300\text{g}/\text{m}^3$ という制限がありますが、この値は鉄筋を絶対に錆びさせないということで決められた値であり、耐久設計の目標として、この値にならないようにということで良いかどうかは、まだ難しいということです。

(2) 耐久性評価と診断

小野 今、樹田先生のお話の中で塩分の総量規制の $300\text{g}/\text{m}^3$ 或いは中性化ということがありましたので、次のブロックの耐久性診断、評価という観点で議論をお願いします。寿命予測について、先ほど和美さん、河井さんから御発表頂きましたが、何か補足するようなことはありますでしょうか。

和美 先ほど中性化の分布と鉄筋の腐食との関係を申しましたが、実際の建物はそういうものだけではなくて、アルカリ骨材反応、塩化物などいろいろな劣化原因があります。それで、中性化の問題で診断すればこのように簡単にできるということを示したものです。

今後の課題としてはやはり複合劣化をきちんと把握できるようなことを行って検討しないといけないのではないかと考えております。

河井 劣化の限度の話しが先ほどから出ていますが、これは非常に難しいと思います。これは構造物の種類とか環境条件、立地条件によって違ってしまうと思います。ですからその都度その構造物ごとに決める必要があるものと思います。

それから当然、中性化のところにもし塩分が入っていたり、或いはアルカリ骨材反応と塩化物イオンが一緒に入っているというような複合劣化の話が出ましたけれど、それはもう非常に難しくて、恐らくここ 10 年間で進行予測をすることは不可能ではないかと思います。少なくとも一つ一つ片付けていくしかないと思い、これはもう大学の先生方にお願いするしかないと思います。複合劣化の

中でどれとどれが一番危険なのかをせいぜい2つぐらいに絞り込んで構造物ごとに劣化の限度を決めるような方法をとっていかないとなかなか進まないのではないかと思います。

小野 そういうことで複合劣化という非常に難しいことになってしまいますが、参加者の皆さんの中でどなたか複合劣化という観点から日頃お悩みのこと、疑問のこと或いは要望など、についてご発言をお願い出来ませんでしょうか。

小林（住友大阪セメント社） 複合劣化ということで塩害、中性化、アルカリ骨材反応が大きな劣化要因かと思いますが、メカニズム的に考えてどれとどれが複合し得るか、例えばアルカリ骨材反応と中性化では、アルカリ骨材反応は水が無ければ生じませんから、アルカリ骨材反応と中性化とは同時に発生し難い訳です。しかし、さっき河井さんからご発言のありましたアルカリ骨材反応と塩害は複合する可能性があります。

1993年頃アルカリ骨材反応が関西地区で問題になりましたが、海砂等からコンクリートに連行された塩分のNa、Kイオンがいたずらしてアルカリ骨材反応を起こしているということもあったかと思います。また最近では道路の凍結防止剤が従来の塩化カルシウムから塩化ナトリウムに変わりつつあるということで、そちらからNaイオンが供給されてアルカリ骨材反応が生ずるケースもあります。これは昨年のコンクリート工学誌にも調査事例が載っていたかと思います。何と何が複合するのか、そういうことを促らえて検討していかなければならぬと思います。

小野 他に会場の方から何かございませんか。指名させて頂くのは恐縮ですが、今日ドイツの耐久性に関する文献「コンクリートの耐久性」の翻訳版を販売しておりますが、翻訳された北海道コンクリート技術センターの太田理事長がみえておりますが、翻訳された中で何か今の議論につながるようなことがございましたらお話をお願ひします。

太田（北海道コンクリート技術センター） 先ほどアルカリ骨材反応の話がありましたが、ドイツのその文献によりますと、アルカリ骨材反応は一度コンクリートが固まってしまったら、後から塩分が入ってきてもあまり影響がないと書かれています。つまり、コンクリートの中の水に塩化ナトリウムはもう溶ける能力が無く、一度 Ca(OH)_2 と反応して水酸化ナトリウムになって初めて水に溶けると書いてあります。

いろいろな複合の作用があるのですが、その解決の糸口をみいだすには、基本的なところをもう一度見なおすのが良いのではないかと考えます。

小野 今回のアンケート調査により、これはゼネコンの方々のご意見だと思いますが、耐久性の評価方法或いは壊れたときの補修工法の選定、またそのようなことを行うにあたっての基準の整備が必要というようなご要望が多かったように思います。複合劣化となりますと非常に難しいということになりましょうが、今のご指摘のように個別の要素技術の解明を行っていくしかないのかという気がしております。複合劣化の議論にさらにライフサイクルコスト的なことが一方では議論されています。

吉田 先ほど河野さんのお話の中で鉄の橋梁はライフサイクルコストから考えるとこれだけ有利だ、ということをかなりはっきりPRされている、ということがありました。それでコンクリートもPRを行っていかなければいけないということだと思いますが、コンクリート橋で見た場合、こ

の辺がどの程度進んでいるのか教えていただけますか。

河野 特に革新的に新しいことをやろうとしているわけではなくて、実は私自身 10 年ぐらい前に建設省のパイロット事業で非常に長持ちする橋梁を造りましょうという提案をしました。要は、当時考えうるいろいろな材料を使って、例えば鉄筋は塗装鉄筋を使うとか、P C 鋼材は防錆型に、シースはプラスチックに、コンクリートは水セメント比を小さくとか、表面に撥水塗装する等のいろいろな対策を組み合わせて施工することを提案したのですが、当時はまだライフサイクルコストというような概念が無くて見送りになってしまいました。鉄の関係者の取り組みは、実はそういったことの組み合わせなのです。ですからコンクリートでも同じように考えれば、多少コストをかければいろいろな工夫が今現在でもできます。そういうものを前面に押し出して、ライフサイクルコストとしてどうかということを考えなくてはいけないということかと思います。

それから、今のご質問と外れるのですが、複合劣化の前に先ず塩害をどうするかが橋梁の大問題で、鉄筋の錆をどうするかをクリアした段階で、錆びないことによって寿命が延びれば、次に凍結融解やアルカリ骨材反応の問題が表面化して、その時初めて複合劣化というのが表面に出てくると思うのです。今現在は複合劣化よりも前にまず錆びないようにするのにどうするかということが先ず第一だと、現場サイドではそんな感じがします。

それから診断評価というお話がありましたが、一つ確認しておきたいのはいわゆる診断評価の時の評価のレベルと耐久設計の時の評価のレベルはまったく別物だということです。例えば塩分量を 300g/m^3 以下にしなさいというのが設計で、これは 皆さん の毎日摂る塩分の量を何グラム以下にしなさいというのと同じレベルの話です。一方、診断評価の時は、もう高血圧になっていてそこからどうするかということです。

供用している橋で、塩害を受けて耐久設計のレベルからいうと既にアウトを通り越している例があります。こういう状態でも我々はあと何年持つかという診断をします。非常に迷いながら、後どのくらい持ちそうだとか、アウトケーブルで引っ張ってやらないと危ないとか判断しながら。現場はこのようにこれを明日使えるか使えないかというようなところまでいっている状況です。

(3) 耐久性から見た材料

小野 塩害劣化が当面の大きな課題であるというお話でしたが、次の材料のブロックに移りまして、セメントとコンクリート材料という観点から耐久性に関して現状の問題指摘というような話を進めてまいりたいと思います。

ここでコーディネーター役を三菱社の窪山さんに代わっていただきます。

窪山（コーディネーター） 今まで、ジャンルとして耐久性設計と耐久性診断評価の範疇をご討議頂いたのですが、これからは、材料の面からとアンケート調査にもありました耐久性を向上させる新材料や技術、それと耐久性に関する今後の動向全般について皆様のご意見を頂きたいと思います。

先ほど、後藤さんから、「セメントの強さとコンクリートの耐久性」という話題で、コンクリートの耐久性を良くするセメントに対するアンケート回答と強さの関わり、ヨーロッパでの普通強度クラスのセメントのタイプと耐久性との関わりについてお話をありました。

また、大即先生からセメント系材料の性能評価ということで、海洋環境下を例に評価の手法を変えると、あるいは評価の基準が違うと使えなかった材料が使えるようになるし、逆に使える材料も使えなくなる例をお話いただきました。

まず、後藤さんから強さの低いセメントについてのご意見があれば頂きたいと思います。

後藤 セメントの強度ということでお話したのですけれど、日本でも強度の低いセメントを使った例が、ちょっと見方を変えるとあるのです。粉体系の高流動コンクリートは、単位量 $300\text{kg}/\text{m}^3$ のセメントに $200\text{kg}/\text{m}^3$ の石灰石粉を使っていますが、フィラーセメントとして考えますと 32.5 クラスのセメントで造られていることになります。実際に実構造物のコンクリートでこういうセメントが使われていて、その耐久性もかなり評価されているというのが現状だと思います。このことは、今の配合の中でどうやっていくのではなくて、コンクリートとしてどのような配合が耐久性の為に良いのか、という議論を進める上でも、こういう例が重要になってくるのではないか、と思いますのでその辺の議論をしていただければと思います。

太田 北海道の十勝大橋を調査してわかったことは、昭和 13 年から 18 年にかけて戦時中の資材不足のためか、セメントの強度が下がっていたことがわかりました。しかし、そのセメントを使ったコンクリートの強度は 50 年経って当時の 2 倍位に増えていることがわかりました。

この理由をいろいろ考えているのですが、セメントの強度が低くて粗粒なことが原因の一つではないかと考えております。低強度で、粗粒のセメントについて少し議論いただければと思います。

窪山 セメントの鉱物組成、粉末度といったところと耐久性との絡みでご意見を頂きたいのですがセメント業界の方でどなたかお願ひします。

富田（太平洋セメント社） 歴史的にどんなセメントが造られてきたかは皆さんご存じのように、昔のセメントは強度がかなり低かったのですが最近は非常に高いです。それで、同じ構造物を造ろうとすると当然、今のセメントは水セメント比の大きいコンクリートができるわけです。昔の強度の低いセメントを使って低い水セメント比で造ったコンクリートの場合に、高い水セメント比で造ったコンクリートと耐久性がどっちがどうなのかという話になるとなかなかわからっていないことがあります。

今、太田さんが言われた粉末度の問題は別にして、焼成技術については完全に技術的レベルが上がっていますので今更生焼けのセメントを造ってどうのこうのというような議論にはならないと思うのですが、後藤さんが言っておられたように混合材で強さを調整するという考え方はあると思います。

昔のセメントで造られた構造物にも耐久性のあることが実証され、現在のようにセメントが高強度になり、比較的高い水セメント比で造っても、きちんと耐久性が得られる構造物もできています。その違いが何なのかということについて解明して欲しいと思っています。

河野さんがお話をされたことへの質問ですが、性能照査というのがかなり具体化され、道路橋は 2 年後に性能照査型を意識した示方書に変えようということのようですが、本当に耐久性を性能照査できる形で正確に捉えてやろうと思うと、かなりきちんとした研究を早くに積み上げないと何で評価したらよいかもわからないと思いますが。

河野 性能規定化の意味というのは、いろいろな見方があると思います。性能規定化したからなんか新しいことを行わなければならないのではなくて、今までずっと行ってきた物事、例えばコンクリートの物性、挙動を理解する研究をベースとしてそれをスムーズに設計へ反映できるように性能規定化することです。

性能規定化したから全てがわからなければいけないとか、全てがわからなければ性能規定化できないというようにしてしまいますと、新しい技術を開発することのブレーキになると思います。

西澤委員長 性能規定では限界状態を決めなければいけません。ところが、限界状態は今の土木学会コンクリート標準仕方書では、使用時の限界状態はひび割れ幅で規定しているので、鉄筋コンクリートでひび割れによって何ミリ以上開いたらいいかという限界状態を決めて設計をしています。ひび割れ幅というのはセメントの影響は殆どうけないです。土木学会標準示方書では、設計基準強度を基本にしているものだから、セメントメーカーは強度や粉末度を高めようとする訳です。ひび割れ幅とセメントの性質には関係がありませんが、コンクリートの強度とセメントの性質には直接関係があるので、ここが問題なのです。性能規定に対する限界状態のイメージが皆さん違うもんですから、誤解がでてくるのだと思います。

大塩（セメント協会研究所） 今、西澤先生はセメントとひび割れ、耐久性とは関係ないと言われますが、セメントの性質というのは耐久性上から非常に関心のある事項ではなかろうかと思います。そこで、施工する立場から永年建設材料の研究に携わっておられる万木さんには、セメントの材料、なかんずく混合セメントと耐久性について経験上或いは研究上思われていることをお話ししていただけたらと思います。

万木（鹿島建設技術研究所） 我々がコンクリート構造物を造るにあたって、ひび割れについては耐久性を向上させるために非常に問題となるケースがあります。ひび割れの主な原因としては、温度応力、乾燥収縮が今まで問題となっています。その観点から高炉セメント系のものより、ポルトランドセメント系の低発熱型の方が良いのではないかということで選んだケースもあります。

最近、その自己収縮というのが随分問題となって、その面からも高炉セメント系のものが比較的収縮が大きいのではないかと言われています。

我々、施工する者にとっては、コンクリートのひび割れは耐久性に絡んだ大きな問題ですので、その辺のことがもう少しきちつとした研究がなされて、ひび割れ抵抗性に優れたセメントが開発されれば、耐久性向上のためには良いのではないかと考えています。

窪山 活発なご討議いただいていますが、先ほど、大即さんからセメント系材料の性能評価に関して話題提供を頂きました。関連しまして数百年のオーダーでセメントの性能評価が必要な分野があります。このような超長期的な時間軸での性能評価の研究に取り組んでおられるオーテックの芳賀さんからその辺のご意見をお願い致します。

芳賀（オーテック社） 原子力などの放射性廃棄物処分の分野ではセメントの耐久性に関して、どのような考え方があるのかという一例を申し上げます。地下構造物である埋設施設の放射能の閉じ込め性能の時間的变化を評価するために、セメントの溶解挙動評価が行われています。

これは、一部の重要な放射性核種の溶解度が、pH等の化学的環境によってどのような変化をする

のか、また施設を構成するセメントが地下水にどのように溶けて化学的環境を変化させるのかということを、セメントと水の平衡計算からモデル化して、数万年といったオーダーまで閉じ込め性能を評価することを検討しています。現在ではモデル化研究と平行して、実験によってセメントの溶解現象を解明するといったような非常に基礎的な研究も実施され、原子力学会の中では、このようなセメントの耐久性評価研究も注目されてきており、セメント専門部会を作ろうという話もあります。

(4) 今後の動向

窪山 予定の時間がきましたが、新技術や耐久性に関する今後の動向についての話題が残っていますので、ご意見を頂きたいと思います。大即さんの話にててきました電気化学的補修方法について、久田先生よりお願いしたいと思います。

久田（新潟大学） 電気化学的だけでなく、リハビリティーション工法にはいろいろ方法があるということです。要は、コンクリートの劣化のメカニズムが明らかになって、どのくらいもつかがはつきりわかれば、また補修・補強の方もどれくらい直るかがはっきりわかれば、ライフサイクルコストでも何でも計算できてくるということです。最近の材料開発をみると高流動コンクリート用のセメントが開発されているようで、流動性を確保するためのセメント、施工時間を確保するためのセメントというのがありますから、今後のセメント開発の方向として、強度や流動性が劣るけれども耐久性に特に優れたセメントというのがあってもいいという気がします。

窪山 本日は耐久性専門委員会の委員として友澤先生、大門先生に参加頂いておりますが、今までのことを踏まえて、大門先生にご意見を頂ければと思います。

大門 コンクリートを研究している方に教えていただきたいと思っていることがあるので一つだけ質問致します。コンクリートクライシスという言葉を久しぶりに耳にいたしましたが、あのころ特に関西の方での騒ぎが大きく聞こえましたが、関東では、それほどでもなかったような気がします。当時、コンクリートがあと2、3年で壊れ始めるから今後10年、20年経ったら日本中のコンクリートが全部壊れているだろうというように言われる方もいました。今はそれほどにはなっていないのだろうと思うのですが現実のことが判りません。ある方のご意見によると、造った構造物は初期に幾つか問題があって壊れるものがあって、2～3年経過した後はもう数十年か数百年近く大丈夫だとおっしゃる方も多いようです。

大騒ぎしたときだけそういう議論がなされるのですが、その後かなりいろいろ事例が調査されていて、判り始めているのだろうと思うので、どちらが正しいのか教えて頂きたいと思っています。

窪山 河野さんからお願い致します。

河野 私は塩害を第1に解決しなければいけないと思っています。アルカリ骨材反応はわりと新しい構造物でもたまに見かけるんですが、多分当初騒がれた程構造物としては問題ないと思います。

とにかく塩害を何とかしなければいけないと思います。私は橋梁を500年もたすにはアーチ構造にした方が良いと昔から言っていました、まさしくそうだと思っていました。

大即 アルカリ骨材反応の件ですが、日本コンクリート工学協会の委員会で金沢大学の鳥居先生の

データを見せていただきますと、アルカリ骨材反応でコンクリート中の鉄筋が途中で切れている例とかが最近も発生しているということで治まっていないと思います。

それから先ほどの久田先生のお話に付け加えます。あまり水和反応性の良くないセメントで港湾構造物を造りますと、例えばケーソンなどは施工のやり方によっては継ぎ目から水がどんどん出てくるのです。ところが水和反応性の鈍い、水和反応がずっと続くセメントを使っていると傷口が塞がって水の浸出が止まるということで、そういうセメントが必需品だったのです。

窪山 皆さまの興味深いご意見をいただきましたが、ここで、これまでの議論を踏まえて、友澤先生に総括的なご意見を頂ければと思います。

友澤 総括になるかどうかわかりませんが、材料としての耐久性、つまり、塩害で鉄筋が錆びるとか中性化がどこまで進んだかそういうことは、現象として理解しやすいのですが、耐久設計に結びつけていこうとすると非常に難しくなります。コンクリート或いは鉄筋がどう劣化していくのかという話と、構造物としての性能がどう低下していくということは、関係はあるのですけれど別問題になります。

今日は両方の話が出ていたのですけれど、耐久設計ということになると構造物としての性能がどこまで落ちても良いのか、将来的にある年数の後にどういう状態になるかということを予測して設計しようということになります。

従って、耐久設計する目標に寿命というものを置かなくてはいけません。寿命は、今申し上げたある限界の状態になると予測される年数で示されると考えられます。この状態というのは、構造物のもつ各種の性能が低下して危険になるとか、それ以降の性能低下を防ぐことが困難になるとか、つまりその時点での耐久性能が低下してしまっている、というような状態だといえます。

ところが一般には、その限界の状態まで構造物は供用されているので、その寿命が来たからといって、突然使用不可能になるわけではありません。そこで、その構造物がさらに存続させる価値があるか、あるいはその限界の状態から性能のあるレベルまで回復させるためにかかる費用から廃棄した方がよいか、の判断をすることになります。その意味で、最終的には河野さんのお話のようにライフサイクルコストでの検討をしっかりと行って、ライフサイクルコストに基づいて設計をしていくということを取り入れないと耐久設計というのは決してできないであろうと思います。そのあたりの研究はまだ不足しており、これからも大いに研究していかなければならぬと思いますが、今申し上げたような耐久設計の基本的な考え方もよく整理していく必要があると思います。

窪山 これで、パネルディスカッションを終わりにしたいと思いますが、コンクリートの耐久性について検討すべき課題はまだ沢山残っています。セメント業界の立場で我々は、セメントやコンクリートをどこまで理解しているのか、その耐久性能をどこまで化学的に主張できるのか、そのためには、どんな問題点について、何の研究が必要なのか整理していかなければならないと思います。今日は、お忙しいところご参加頂きましてありがとうございました。

4.5 閉会の挨拶

大塩 元々セメント協会の耐久性専門委員会には1983年に故・岸谷先生に先導役をお願いし、その

後を西澤先生が引き継いで下さいましたが、1999年3月でセメント協会の専門委員会としての活動は終息致します。これで耐久性問題が片付いた訳ではございませんで、むしろ社会環境がますます多様化する将来に向けて、耐久性向上のための地道な努力が必要であると、本日のパネルディスカッションからも痛感致しました。これからも、この耐久性のことだけに限らずセメント・コンクリートにつきまして学校の先生方、官庁の皆様、ゼネコンの皆様等々多くの方々の協力を頂きたく思います。そのパイプの役割をセメント協会としても業界としてもやっていきたいと思っておりますので宜しくお願ひ致します。本日は、多くの皆様にお越し頂きまして最後まで熱心に、ご討議に参加下さいまして心から感謝申し上げます。これで閉会にさせていただきます。

資料

1. アンケート回答結果およびアンケート調査回答者のコメント集概要
2. 耐久性専門委員会議事録
3. 耐久性専門委員会関係報告

1. アンケート回答結果およびアンケート調査回答者のコメント集概要

アンケート回答結果

(人数)

項目	大 学			建設会社	官公庁	その他	計
	土木	建築	化学				
回答数	35	26	3	14	7	30	115
1	はい	24	18	1	14	7	21
	いいえ	9	7	2	—	—	8
	無回答	2	1	—	—	—	4
2	はい	27	14	—	11	5	15
	いいえ	6	10	3	2	1	13
	無回答	2	2	—	1	1	2
3	はい	31	22	1	12	7	18
	いいえ	3	3	2	2	—	11
	無回答	1	1	—	—	—	1
4	はい	17	7	1	10	4	11
	いいえ	13	13	2	3	2	18
	無回答	5	6	—	1	1	1
5	①	16	9	—	2	2	14
	②	14	5	—	1	1	15
	③	23	23	2	10	4	19
	④	2	1	1	—	—	3
	⑤	12	4	—	2	—	5
	⑥	25	16	1	10	5	18
	⑦	10	12	1	4	3	9
	⑧	21	15	1	9	3	13
	⑨	19	18	—	11	6	10
	⑩	13	9	—	9	3	6
	⑪	4	5	—	1	—	2
	⑫	7	3	1	2	1	4
	無回答	—	1	1	—	—	2
6	はい	15	9	2	8	4	10
	いいえ	17	13	1	5	3	19
	無回答	3	4	—	1	—	1
7	はい	31	24	1	14	7	21
	いいえ	4	1	2	—	—	8
	無回答	—	1	—	—	—	1
8	はい	1	1	—	1	1	—
	いいえ	24	15	2	12	4	28
	無回答	10	10	1	1	2	26
9	はい	29	20	—	13	6	17
	いいえ	5	1	2	1	1	11
	無回答	1	5	1	—	—	2
10	はい	24	19	1	11	7	11
	いいえ	5	3	1	1	—	14
	無回答	6	4	1	2	—	5
11	はい	25	13	—	14	7	16
	いいえ	10	11	2	—	—	14
	その他	—	2	1	—	—	3
12	はい	10	8	—	8	5	9
	いいえ	16	16	2	5	1	20
	無回答	9	2	1	1	1	15

*その他は、住都公団、電力、製品、混和剤、コンサルタント等

【質問1】コンクリートの耐久性に関して現在また、過去に困ったこと、問題を感じたことがありますか。

(人数)

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	計
塩害 鉄筋腐食	コンクリートの剥落		1					10
	鉄筋腐食を増長する要因	1					1	
	ひび割れ補修方法や耐震性能の検討	1	1					
	道路橋・桟橋（LNG、コンテナ）の損傷	1		1				
	コンクリート構造物の鉄筋腐食	1						
	スラブ下端のかぶり不足による鉄筋腐食			1				
凍害	腐食診断技術の開発が必要						1	5
	凍害対策方法（高欄、凍結防止剤の利用に対して）	1						
	凍害防止剤による床版の劣化	1						
	橋梁高欄における凍害による損傷				1			
	凍害を受けたコンクリートの機能を確保できる対策がない						1	
アル骨	骨材の品質によっては空気連行しても問題が生じる						1	5
	アル骨によるひび割れの補修方法や耐震性能に問題	1	1					
	再生骨材のアルカリ骨材反応チェック方法				1			
	コンクリートのアルカリ量の推定				1			
劣化	補修方法が完全でない						1	6
	劣化の程度の（限界状態）把握		1					
	劣化メカニズムや劣化現象の定量化				1	1		
	輪荷重による損傷劣化				1			
	施工直後の劣化減少に関する研究が未開発						1	
ひび割れ	高度成長期に建設された構造物に早期劣化があり対策に苦慮した						1	6
	かぶり厚さが少なくひび割れ		1					
	コンクリートの強度不足と地盤沈下によるひび割れ		1					
	温度ひび割れ制御→品質管理、施工	1						
	管理の技術開発が必要	1						
	コンクリート床版で大きな初期クラック発生					1		
化学腐食	漏水対策				1			4
	硫酸性地盤におけるコンクリート基礎の膨張破壊	1						
	環境（肥料等）によるコンクリートの劣化	1						
	SO ₄ ²⁻ 量が非常に多いし尿処理槽補修方法と耐用年数	1						
複合劣化	H ₂ Sガスによる腐食が下水道で生じている						1	4
	諸要因の連成、相互作用の定量モデル化		1					
	塩害と凍害（橋梁のPC鋼材の破断）	1						
評価方法	複合劣化のメカニズムの解明、設計上への適用		2					14
	環境条件に関する評価方法	1						
	構造的な劣化、損傷度を判断する定量的な評価方法	1	1	3				
	打継目の耐久性評価	1						
	補修・補強に対する効果の定量的評価と補修後の耐用年数・費用等の評価システム	1						
	耐久性評価のためのデータ（材料、施行性等）不足		1					
	促進試験（室内、暴露、コア供試体）と実構造物との関係	1		2		1		
施工	評価項目と試験方法の確立				1			3
	施工性の程度の把握		2					
	施工工区が分割の為部分的劣化	1						
補修	メンテナンスの管理		1					8
	補修補強に対する（調査、設計、時期）最適工法の選定			4	1			
	効果の定量的評価、補修後の評価方法の欠落	1						
	補修時期が物理的条件以外で決定される。						1	
配合	ポンプ使用による水セメント比の増加、海砂の使用	1				1	2	

耐震	コンクリートの耐久性と耐震性能の関係		1					1	
材料	セッコウの無添加の高炉スラグ微粉末を混合材として用いると耐硫酸塩性が低下する		1					5	
	骨材（蛇紋岩）によるポップアウト現象		1						
	低品質骨材コンクリートの耐久性改善方法					1			
	凍結融解抵抗性と非空気連通性を併せ持つ混和剤を推奨せよと施工業者に要請されて困った。						1		
	コンクリート用耐久性向上剤を開発してもコストがネックでなかなか採用されない						1		
剥離	コンクリートの剥離（トンネル上部、かぶり等）	1	1					3	
	外装モルタル剥離		1						
寿命	耐用年数と耐久設計の方策	1						2	
	耐用年数の把握(保証予定期間と環境条件による違い)		1						
基準	旧基準による構造物の取り扱い		1					3	
	凍結融解試験の開始が14日と短いので28日を要望						1		
	コンクリート表面の気泡について耐久性能としての品質基準等の規格化を図って欲しい						1		
その他	コンクリートの汚れ		1					10	
	高性能コンクリートの自己収縮		1				1		
	生コンの費用と運搬時間との関係		1						
	吹き付けコンクリートの耐久性→検討中	1					1		
	施工者との責任分担					1			
	高性能AE減水剤を使用の場合コストアップ分を発注者負担						1		
	コンクリート製品では表面美観が先行し空気量確保が困難						1		
環境条件によって耐久性を考慮した設計が欲しい							1		
計			22	26		14	8	21	91

【質問2】コンクリートの耐久性を今以上に向上させるために、新しい技術で対応すると
いった考え方をお持ちですか。

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	(人数)
塩害 鉄筋腐食	亜鉛メッキ鋼纖維	1						11
	E P 鉄筋	1						
	プラスチックシース	1						
	電気化学的（脱塩）補修	1			1	1	3	
	防食鉄筋				1			
	防錆剤						1	
凍害	凍結防止剤を使用する場合の塩分浸透抑制技術	1						1
アル骨	高炉セメントの使用	1						2
	アル骨反応防止剤		1					
ひび割れ	材料、配合、施工面から対応	1						1
中性化	中性化抑制剤			1				2
	再アルカリ化工法						1	
評価方法	診断ができる機関およびコンサルタントの増加	1						4
	グレード設定技術の開発			1				
	性能の観点から評価手法（試験法を含む）の見直し					1		
	品質変化（劣化）を常時モニタリング可能な技術		1					
施工	無理のない工法の開発	1						3
	工事の工期、コストに縛られレベルが低下			1				
	初期損傷の制御						1	
骨材	品質低下を新技術で対応	1						1
寿命	数理モデルによるシミュレーション		1					1
基準	供用期間の設定（明確化）	1						3
	耐久性を付与した構造物構築システムの開発	1						
	基準、指針の見直し						1	
新材料	新規混和剤（漏水防止、養生不要、自己修復 等）	1	4	1		4		16
	水溶性シリカ質材料の塗膜	1						
	非鉄材料（FRP 等）の導入	1					1	
	新材料の開発および適用	2						
	インテリジェント材料の開発		1					
品質	非破壊による品質判定	1				1		5
	品質管理の強化					1		
	目標空気量の変更						1	
	発注方式の変更						1	
型枠	高耐久性埋設型枠による有害物の侵入防止	2					1	6
	高耐久性プレキャスト製型枠の使用 (施工性良好な) 永久型枠			1				
				2				
構造・設計	寿命設計	1						5
	他の構造材料との合成・複合構造		1					
	拘束効果を期待する設計法の導入		1					
	基礎物性、初期品質と長期品質の関連づけ材料設計			1				
	耐久設計手法の利用				1			
各種コンクリート	高性能（高機能）コンクリート	4	2	4		2	17	
	超硬練コンクリート					1		
	外部コンクリートの強化（耐久性パネルの応用等）	2						
	樹脂コンクリートの応用	1						
	繊維補強コンクリート		1					
定量化	新技術効果の定量化および確立	1					1	

材料	混和材料の有効利用					1	1	11
	組合わせによる耐久性の向上	1						
	スラグ微粉末の利用（気温補正不要）		1					
	かぶり部コシクリートの引張靭性の向上		1					
	コーティング材	1			1		1	
	プレキャスト部材の採用				1	1	1	
環境	環境条件の把握	1						1
収縮	乾燥収縮低減剤				1		1	2
新技術	厳しい環境条件では点検・補修を新技術で対応	1						1
養生	養生工程の規格化	1						1
その他	バクテリアの排除	1						6
	現状でも十分に対応可能（従来のものを生かす）	1			1		2	
	技術者の技術の向上	1						
	計	37	15		19	7	23	101

【質問3】コンクリートの耐久性に関して関心のあるテーマとして取り上げたいものがありますか。

(人数)

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	計
塩害 鉄筋腐食	鉄筋の腐食	1	1			1		15
	補修・補強技術及び有効性の確認方法	1						
	塩害	2						
	凍結防止剤を使用した	1						
	鉄筋の腐食に及ぼす影響		1					
	塩害とひび割れの進展		1	1				
	塩害と維持管理							
	鉄筋の腐食度との関係			1				
	ひび割れ幅、かぶりとの関係			1				
	塩害劣化対策					1		
凍害	混和剤 W/C					1		7
	有効な混和剤					1		
	凍結防止による	3						
	有効な混和剤					1		
	超硬練りコンクリート及びポーラスコンクリート凍害を受けにくい					1		
アル骨	高流動コンクリートの凍結融解に対する					1		3
	鋼材の品質、空気量と凍結融解抵抗性の関係					1		
劣化	アル骨反応抑制剤の研究開発					1		5
	アル骨反応	2						
	材料の劣化と耐震性の関係	1						
	局地的気象の変動発生と劣化	1						
	劣化限界状態の設定方法	1						
ひび割れ	劣化現象の総合的なモデル化				1			6
	メカニズムの解明				1			
	表面ひび割れから鉄筋腐食速度の推定		1					
	若材齢の高強度コンクリートにおける収縮ひび割れの発生	1						
	抑制技術（メカニズム、予測、）	1						
	乾燥ひび割れ	1						
摩耗・疲労	沈下ひび割れ					1		1
	マスコンのひび割れ対策			1				
複合劣化	摩耗は他の劣化に比べ	1						9
	凍結防止剤による鉄筋腐食及びASR	3						
	初期凍害と疲労性状	1						
	複合劣化のメカニズム	1	1					
	中性化と塩害		1					
中性化	塩害と凍害		1	1				1
	中性化速度の促進養生と自然暴露との関係の検討		1					
評価方法	A E 剤の入っていないコンクリートの評価	1						9
	寿命予測	1						
	強度、水密性で耐久性を評価できる試験方法				2			
	補修材料の性能評価試験方法				1	1		
	評価方法の確立		1	2				
骨材	人工骨材による耐久性向上				1			1
耐力低下	構造耐力に及ぼす影響				1			1
品質評価	品質差	1						5
	補修時期の選定					1		
	補修の効果					1		
	促進養生と施工環境	1						
	定量方法	1						
型枠	打ち込み型枠		1					1

維持補修	メンテナンス技術				1		1
ライフサイクル	コストの考え方	1					1
各種コンクリート	繊維補強コンクリート		1				1
材料	低品質骨材を用いた		1				2
	ポリマー混和剤		1				
環境	環境条件の影響			1			1
超高耐久性	高耐久コンクリート		2		2		4
新技術	自己修復機能を持つコンクリート		1				1
その他	舗装コンの目地間隔を長く取れる方法			1			1
	計	25	19	2	12	9	76

【質問4】アルカリ骨材反応、塩害に関して現在新たな事例があると思いますか。

(人数)

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	計
塩害	凍結防止剤による影響	6	1					24
	経済的な手法の開発	1						
	飛来塩分による影響	1				1		
	内陸における塩化物イオンの影響		1					
	潜在予備軍的な構造物がある		1					
	環境条件と施工不良が重なった場合に局部的にある				1			
	塩分浸透速度式の簡便式の確立				1			
	塩害補修しても、新たに発見されている事例が多い				1			
	塩化物を遮断するような仕様でない構造物が多い				1			
	仕上材対応が中心だがコンクリート自体の対応がない				1			
	劣化を促進するような対応が平気で行われている				1			
	ロードカッター、縁石、壁高欄等の事例が多い					1		
	飛来塩分の影響は現行規準では加味されていない						1	
	改訂前の構造物劣化が顕在化するのはこれから						1	
	地下水の影響						1	
	含有塩化物を調査し、これに基づく将来予想を行い、各種補修をつかい分けるマニュアルを作成し、これに基づいた補修を実施している						1	
	トンネル内構造物の塩害						1	
アル骨	塩化物による影響	1						11
	診断できる機関が少ない	1						
	細骨材に起因するもの	1						
	九州で十年以上経過した構造物にひび割れが確認	1						
	九州、中部、沖縄地方から多くのゲルが検出された	1						
	試験方法に問題がある	1				1	1	
	平成になって建造された構造物でも発生している	1						
	反応性の骨材製造は淘汰されたと理解してよいのか						1	
複合劣化	アル骨の長期間の進行						1	3
	複合して作用する場合、促進されている可能性がある				1		1	
	中性化、ひび割れ、凍害等と複合された評価が必要				1			
その他	確認されたものの進展調査を実施する	1						6
	アル骨も塩害もなくなったとはいえない		1			1		
	進展性ひび割れに対する対策は対応されていない		1					
	各地で損傷が発見され修復工事が行われている						1	
	被害を公表したがらないのが根本的な問題						1	
	計	16	5		8	4	11	44

【質問5】コンクリートの耐久性のうちどのようなことを重要視されていますか。

(人数)

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	計
アル骨	骨材の状況によりアル骨領域が増えると考えられる						1	1
劣化	材料的劣化と構造物の性能の関係						1	3
	化学反応を伴う劣化は対処が困難						2	
複合劣化	耐久性と早期劣化の問題は分ける必要がある	1						3
	複合要因に対する耐久性	1					1	
中性化	CO ₂ 以外のガス (SO ₂ 、H ₂ S、Cl ₂ 、NH ₃ 、HCl 等) の影響		1					2
	中性化を腐食としてとらえることができないか			1				
評価方法	時間をかけて検討する必要がある	1						5
	モニタリングシステム	1						
	ライフスパンコスト評価			1				
	骨材の評価方法の再検討						1	
	劣化進行の予測						1	
骨材	良質な骨材不足					1		1
基準	施工に無理のある示方書	1						1
各種コンクリート	高流動コンクリートの耐久性						1	1
定量化	耐用年数をひび割れの関数とし、耐久設計を定量化	1						1
その他	技術者の意識	1						3
	熱の作用を受けるコンクリート性状		1					
	水の挙動		1					
	計	7	3	1	1	1	8	21

【質問 6】我が国のセメントについて耐久性関連で日頃感じておられることありますか。

また、セメントの規格改正（97. 4月）が行われましたが、耐久性関連で何か問題点がありましたか。

(人数)

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	計
評価方法	殆どの研究者は W/C 同一だが、強度同一の方が実用的		1					1
施工	ドライアウト防止工法		1					1
セメント	耐久性と化学組成、粉末度、混和材の関係	4						
	粗粒セメントとし W/C を低減	2			1		1	
	早期強度が大きすぎる	2			1			
	体積変化の少ないセメントの開発	2	1		2	1	1	
	28 日強度を重視したセメントが多く、耐久性が軽視	2	2					1
	強度、水和熱重視でよいのか（断熱温度が早い）	1		1				
	高炉セメントの普及および耐久性	2						
	新種セメントが開発されても一般には使用しにくい	1						
	混合セメントが性能表示でない	1						
	与えられていると捉えられパラメータとして考えにくい		1					
	品質は安定しているのか		1				2	
	混合されている 5% の物質について明示して欲しい		1					
	セメントの炭酸化			1				
	高耐久性セメントの開発				1			
	高炉 B 種でも初期欠陥ひび割れが発生しやすい				2			
	普通ボルトでは耐久性向上に限界がある				1			
	耐久性を考慮すると品質保証に対して要求する				1	1		
	特殊セメントの耐久性						1	
	単位水量の少ないセメント						1	
	低熱セメントが日常レベルで使用できないか						1	
	リサイクル材の活用					2	1	
	全てアルカリ量 0.6% 以下にできないか（低アルカリ）					1	2	
その他	エフロレッセンスによる汚れ		1					1
	計	17	9	2	9	5	11	53

(人数)

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	計
基準	各種セメントモルタルの長さ変化を同一水セメント比で比較している。材齢 28 日強度を同一として比較することが重要だ		1					1
	耐久性向上対策としてどのような規格が設けられたのか。ユーザーにはまったく見えない				1			1
材料	高炉セメントの活用					1		1
	計		1		1	1		3

【質問7】我が国のコンクリート構造物の耐久性について日頃感じておられることがありますか。

(人数)

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	計
塩害	内陸における大気中の塩化物イオンの浸透による塩害	1						1
ひび割れ	ひび割れが発生しやすい			1		1	2	
化学腐食	ひび割れに伴う鉄筋腐食が問題。施工、材料から対策					1	1	
複合劣化	中性化と鋼材腐食の関係は実験室的には分かるが実構造物ではどうなのか	1						2
	劣化因子の速度以上のかぶり厚確保の議論が大切	1						
中性化	中性化試験結果を評価する(標準化)	1						1
施工	施工管理(施工の良否と耐久性の関係)	3	1	2	1	4		16
	施工による初期欠陥が耐久性に悪影響を及ぼす	1			1			
	コンクリート施工管理者制度の導入		1					
	複雑な形状による締固め不足					1		
	施工能率優先(ポンプ圧送等)で耐久性は確保できるか					1		
補修	補修した構造物の劣化進行状態のデータベース化	1						13
	補修材料自体の耐久性	1						
	養生工程を明確に義務づける	1						
	補修後の評価方法の確立	2	1	1		1		
	構造物建設後のメンテナンスが乏しい	1						
	RCは基本的に補修が必要。施工側にも認識させる		1					
	局部的試験と全体試験の検査を明確にする		1					
	保全・補修が容易な構造形式の提案				1			
	マニュアル通りに補修するとコストがかかり過ぎる					1		
配合	強度から定まり耐久性が軽視されている	1						1
耐震	耐震補強の実施率が低い					1	1	
骨材	骨材・生コンの信頼性が低い					1	1	2
寿命	欧米に比べ耐用年数の設定が短い	1						7
	データの積み重ねが不十分	1						
	長寿命コンクリート	1		2	1			
	物理的耐久性より社会的、機能的耐用性の方が短い		1					
基準	高耐久性の指針が必要	2	1	3		1		23
	設計手法が未確立	2						
	低技術力の業者を入札から締め出せるシステムを確立	1						
	耐久設計(土木学会)を積極的に実設計に取り入れる	2	1					
	ライフサイクル評価システム	1						
	劣化進行予測の精度向上。補修を行うか否かの判断基準(非破壊試験等)の明確化	1	1					
	材料・調合の規定に比べ養生の規定が貧弱	1						
	劣化が進む打継ぎ、豆板、かぶり等の試験と検査基準		1	1				
	コンクリートの耐久性と構造設計の接点が不明確		1					
	仕様、設計・施工管理、検査の為のシステムが必要		1					
	仕様と実験室、現場での品質の差異				1			
セメント	セメント量を多くする傾向があるが、ひび割れを誘発する為、W/Cの改善では耐久性向上にはならない				1		1	
新材料	新規混和剤が他の性能に与える影響の有無					1	1	
品質	構造物の品質保証	1					1	
定量化	定量的評価の検討			3			3	
超高耐久性	高強度=高耐久性という安易な図式となっている	1				2	3	

その他	耐久性の配慮が足りない（表面的であり、検討不足）	1						
	実構造物で生ずる原因が不明確。調査と公表が必要	1						
	設計、材料、施工のバランスが大事	1						
	設計者・示方書の意識と実施工者の意識の相違・向上	1				1	2	
	室内実験、促進試験結果と実構造物の相関	1						
	ユーザーは必要性能を把握しているのか	1						
	耐用年数が確保されていればよいと考えている。一度トーンダウンして耐久性について再検討する	1					1	
	各研究機関での成果が生かされているのか調査が必要	1						
	実構造物を知らない研究者が多い		1					
	リサイクルコンクリートとの関連（コスト面を含む）		2		1			
	コンクリートの知識に強い設計事務所を養成		1					
	材料・工法の進歩に対して耐久性を検討しているのか		1					
	建設時の環境・使用条件を踏まえ長期的耐久性を議論				1			
	構造物の均質性と比べて耐久性は劣っていないか					1		
	初期投資は確定的だが成果は不確定						1	
計		36	19		16	8	21	100

21

【質問8】材料および施工上、耐久性に関して検討すべき事柄がありますか。

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	(人数) 計
塩害 鉄筋腐食	コンクリートの品質 W/C		1					3
	塩分量		1					
	かぶり厚さ		1					
ひび割れ	建設直後のひび割れ発生についての相談が多い	1						5
	小規模な施工業者の施工技術向上を図る	1						
	数多くの研究報告がありながら未だ解決していない		1					
	更に詳しく研究、マスコンを含めた構造物の耐久性				1			
評価方法	構造物の評価と実際の耐久性との関係を明らかにする	1						7
	全体を通した集計・検討が必要	1						
	コンクリートとしての品質にも収縮量の評価項目を加える	1						
	施工に技術力の評価方法をどのように構築するか	1						
	耐久性評価試験の確立				1			
	打ち継ぎ目と耐久性評価				1			
	材料、施工方法に関する性能評価				1			
施工	施工が耐久性に及ぼす影響	1						29
	ひび割れ発生に関する設計施工管理に問題がある	2						
	強度発現性を急がない	1						
	プレキャスト製品を有効に使用	1						
	不良や欠陥を取り除く	1	1					
	設計	1						
	中小業者の施工技術向上を図る	1						
	耐久性を考慮した施工がなされていない	1	1					
	点数化など絶対的な施工判定方法を考える時期	1	3					
	高流動コンクリートを使用		1					
	打継、コールドジョイント、ジャンク、W/C の不均一、		1					
	第三者の監視体制		1					
	施工条件が材料性能に及ぼす影響		1	1				
	ランク付け				1			
	施工が耐久性に及ぼす影響は明確				1			
	欠陥部の調査、評価方法および定量化を明らかにする				1			
	データが不足している					1		
	段取り筋の防錆・スペーサー、セパ穴の後処理					1		
	配慮不要とする工法を開発						1	
	新工法について習熟						1	
	異種混和剤用いたコンクリート施工性、耐久性の検討						1	
	品質の均一化方法						1	
配合	W/C の制約で良いのか		1					3
	ランク付け		1					
	単位水量を抑制する意味で高性能AE減水剤を使用		1					
骨材	今後の動向		1					11
	アル骨対策		1				2	
	人口骨材による耐久性向上技術				1			
	低品質骨材を用いたコンクリート				2		1	
	良質骨材の枯渇化への対応					1	1	
基準	規格見直し						1	2
	統一性	1						
新材料	かぶり厚さの許容差を具体化		1					2
	生コン工場での製造システムおよび意識の改革が必要					1		

品質	低品質骨材を用いたコンクリートの耐久性	3						8
	各種混和材を用いたコンクリートの耐久性	1						
	材料の品質管理	1						
	施工の品質管理	1						
	最適維持管理法の提案				1			
	品質保証の体制を取る					1		
性能規定	性能照査法	2						3
	圧縮強度の規定でなくW、C、Gの調合因子と供用期間		1					
各種コンクリート	高強度コンクリートが本当に耐久的なのか疑わしい	1			1			4
	高強度コンクリート積極的に使用		1					
	高強度コンクリートクリープに関して十分研究されていない		1					
定量化	性能低下の定量化	1						5
	経験的な要素の多い部分の定量化	1						
	材料、調合、施工、仕上等環境によって異なるので検討		1					
	施工要因が耐久性に及ぼす影響の定量化		1					
	定量的に評価する方法の確立		1					
材料	各種材料における施工と耐久性の関係を調べる	1						7
	自己補修材の開発		1		1			
	品質差の極力少ない材料を使用		1					
	セメントにポゾラン反応の混和材料を使用（中性化速度）		1					
	混合材の適用					1		
	セメントより配合、骨材の影響が大きい、混和材						1	
養生	統一性	1						4
	工程に関する数値化	1						
	スラブ等乾燥が進んでいる		1					
	初期養生の影響が大きい						1	
その他	表面的な検討でなく真剣な対応が必要	1						9
	コンクリート構造物のシナリオのデザイン法		1					
	土木学会標準仕方書の改訂を待つべきでもっと突込む また、室務的でなければならない。	1						
	コンクリートのみの対応で良いケースとそうでないケース	1			1			
	北半球に力点を置いた研究から南半球あるいは赤道帯 をどうするか戦略が欲しい		1					
	P C a 化耐久性向上技術				1			
	オペレータもコンクリートの耐久性に関する教育が必要					1		
型枠	啓蒙と社会的環境整備						1	
	打ち込み型枠の活用		1					1
ライフサイクル	仁シャルコストの増加よりトータルコストの減少が大きい						1	1
定量化	耐用年数をひび割れの関数とし、耐久設計を定量化	1						1
その他	技術者の意識	1						1
	計	36	32		16	7	14	105

【質問9】コンクリートの性能規定化が計られている中で、評価方法についてコンクリートの耐久性の関連で何か問題点がありますか。

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	計
ひび割れ	ひび割れの可能性はマスコンのみの確率を用いる			1				4
	ひび割れを生じないという性能規定を明確化		1					
	ひび割れ指数を選定			1				
	ひび割れに対してどう考えるのか			1				
評価方法	未確立	1	1	1	1	1		24
	困難		1	1	1	1		
	モデルの構築		1			1		
	時間がかかる		1	1		1		
	時間の経過を関数にして評価できる方法を考える	1						
	どの様な要因の組み合わせ評価するか		1					
	フォローラップする具体的データが不十分		1					
	評価項目、試験方法、判定基準の3セットが必要				1			
	強度、かぶり、暴露環境レベルでしか評価されない				1			
	項目と方法の整理が必要	1	1	1				
施工	評価方法が統一されればランク分け				1			1
	誰が保証するか							
施工	施工レベルの仮定と実現場レベルと合わせて考える	1						1
補修	雨水の接触を避けるようなディテールの設計		1					4
	雨仕舞の見直し		1					
	壁の剥落		1					
	アルカリ回収機による塗布、圧入の同試験を実施		1					
配合	単位水量の制限		1					1
寿命	どの様に評価するか問題				2			2
基準	建築学会の指針を改定中		1					2
	不良なものは排除する		1					
試験方法	促進試験の位置づけ	1						2
	耐火試験の方法の見直し		1					
構造・設計	定量的なデータをもとに設計法を確立		1					1
定量化	定量化のモデル		1					2
	補修方法の効果の実験研究の定量化		1					
養生	促進試験と実環境下での関連を明確化		1					1
その他	興味はあるが、経験は無し		1					2
	よく分からぬ		1					
	計	5	22	3	9	3	4	46

【質問 10】古いコンクリートあるいはこの 5 年間にコンクリート構造物の耐久性について調査を実施したことがありますか。

(人数)

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	計
塩害 鉄筋腐食 塩分量	橋梁橋脚部の塩害	2				1		36
	塩害の劣化度の調査	1						
	中性化による鉄筋腐食	1						
	那覇の建物	1						
	塩害	6			6	2		
	鉄筋腐食	2			1	1	5	
	塩分量 区役所、アパート、図書館、大学	2			1		1	
	塩分量塩化物イオン浸透量				2	1		
凍害	橋梁橋脚部	2						8
	凍結防止剤	1						
	凍害調査	1			2	1	1	
アル骨	能登地方のコンクリート構造物実態調査	1						12
	劣化したダムおよび橋脚の調査	1						
	橋梁部	1						
	A A R	4			1	1	3	
施工	施工不良						1	1
複合劣化	中性化と内的塩害						1	1
中性化	那覇の建物	1						15
	中性化による鉄筋腐食	1						
	区役所、アパート、図書館、大学	1						
	中性化	4			3	1	3	
	道路橋の耐荷力・健全性の調査	1						
化学腐食	下水処理場				1			1
ひび割れ	ボックスカルバート	1						18
	砂防ダムの温度ひび割れ	1						
	初期ひび割れ	1						
	発生と漏水	1						
	道路橋の耐荷力・健全性の調査	1						
	送電線脚部基礎	1						
	針尾無線塔 130M 鉄筋コンクリートタワー	1						
	ひび割れ状況	1			2	1	7	
強度 弾性係数	区役所、アパート、図書館、大学	1						8
	強度低下	1						
	強度	2			2	1		
	道路橋の耐荷力・健全性の調査	1						
透水	区役所、アパート、図書館、大学	1						1
劣化	東北地区 R C 、 P C 劣化調査	1						12
	ひび割れ、中性化、アル骨	1						
	微生物による劣化	1						
	塩害、中性化腐食、酸による劣化				1		1	
	水力発電所の劣化診断						2	
	一番ヤバイものは身近にある（万一破壊した場合人的被害を伴う可能性が高い）						1	
	鉄やコンクリートより山、川の方が恐い（一度自然のバランスが崩れると恐い）						1	
	構造物保守は当たり前のようでは実は大変（保守人員の理解がないと成功しない）						1	
	ひび割れほど面白いものはない						1	

	徒に機具や数値に頼るべからず（現場を見よ）						1
剥離	コンクリート橋脚	1					1
疲労	高重量、低サイクル	1					
	床版	1					
	疲労						1
その他	たわみ測定調査	1					
	剛性調査（静的、動的）	1					
	配合推定	1					
	吸水率	1					
	二酸化炭素吸収量	1					
	すりへり磨耗	1					1
	現状の耐荷力および将来の予測耐力を求めた	1					1
	古いコンクリートには、緻密な組織を保持している物がある						2
	かぶり					1	1
	微生物による劣化		1				
計		61	1	22	11	36	131

【質問 11】既存のコンクリート構造物の耐久性を向上させるための保守・管理について何か対処されていますか。

(人数)

項目	コメント	土木	建築	化学	建設	官公	他	計
塩害 鉄筋腐食	亜硝酸イオンに浸透による鉄筋の防錆		1					6
	電気化学的手法による塩害モニタリング						1	
	電気化学的脱塩工法、再アルカリ加工法、を考えている						1	
	有害イオン吸着剤を活用						1	
	鉄筋腐食メカニズムの解明と定量化					1		
	塩害補修					1		
凍害	毎年の概観調査で凍害に対する補修						1	1
アル骨	アル骨補修					1		1
劣化	劣化速度評価の検討				1			1
ひび割れ	外壁ひび割れ補修						1	1
中性化	中性化などの劣化対策						1	1
補修	雨水の接触を避けるようなディテールの設計		1					14
	雨仕舞の見直し		1					
	壁の剥落		1					
	アルカリ回収機による塗布、圧入の同試験を実施		1					
	補修補強の研究を行っている	1						
	補修補強の設計施工にの考え方について研究している	1						
	アル骨、塩害の補修、電気防食で対応	1						
	連続繊維補強材を用いた下面増厚補修工法	1						
	調査を実施よりよい補修方法について提案						1	
	補修効果のデータ収集と構造物に応じた提案				1			
	補修剤の選定方法				1			
	補修の要否の判断基準				1			
	アルカリ樹脂塗布		1					
	定期診断と判定						1	
耐震	耐震補強（炭素繊維シート、RC等による）						1	1
寿命	寿命予測				2			2
基準	建築学会の指針を改定中		1					4
	不良なものは排除する		1					
	マニュアルの作成					2		
試験方法	非破壊試験検査法の確率	1						1
維持補修	維持管理指針（土木学会）の作成に関わる	1						6
	維持管理の手法の講義を行う	1						
	メンテナンスの確立	2			1	1		
定量化	保守管理の有無の定量化		1					2
	補修方法の効果の実験研究の定量化		1					
その他	興味はあるが、経験は無し		1					4
	モニタリングシステムの確率	1			1			
	ISO対応				1			
計		10	11		9	6	9	45

2. 耐久性専門委員会議事録（第1回～第4回）

第1回耐久性専門委員会議事録

1. 日 時 1997年7月10日（木）15時～17時15分

2. 場 所 東京都中央区京橋1丁目10番3号

　　社団法人 セメント協会 第3会議室

3. 出席者(敬称略)

委員長 西澤紀昭 中央大学

委員長瀧重義 新潟大学

友澤史紀 東京大学

山崎之典 日本セメント(株)

城安市 (株)トクヤマ

吉田八郎 秩父小野田(株)

上野一恵 電気化学工業(株)

宇賀神尊信 三菱マテリアル(株)

檀康弘 新日鐵化学(株) 代理出席 近田孝夫

車田則充 住友大阪セメント(株) 代理出席 小林茂広

富田六郎 日本セメント(株)

森山容州 セメント協会

セ協 大塩明, 石原正浩, 三浦宏一, 村田芳樹,
岩下直義

4. 配布資料

No. 1 議事次第

No. 2 耐久性専門委員会の位置付け

No. 3 耐久性専門委員会名簿

No. 4 耐久性専門委員会のこれまでの活動状況

No. 5 第82回通常総会報告 土木学会 長瀧委員

No. 6 JASS5改正その骨子 日本建築学会 友澤委員

No. 7 大門先生の手紙

No. 8 コンクリートの耐久性試験に関する試験報告書

5. 議事

議事に先立ち事務局から耐久性専門委員会の性格と位置付け(配布資料2)を報告した。

(1) 耐久性専門委員会の活動の経緯

事務局からこれまでの耐久性専門委員会の活動の経緯(配布資料4)および岸谷委員会から引き継いだ釧路・盛岡・酒田市の耐凍害性の長期試験は今後も事務局(協会研究所)が測定を続ける旨の報告をした。

(2) 議事

委員長から本日は話題提供のための多くの資料が用意されているが、新しい体制での第一回委員会であり、資料によらず自由に討議したい。

また、本委員会の内容をセメントコンクリート誌で広く読者に紹介する必要がある事が述べられた。

自由討議を行い次のような意見があった。

①耐久性専門委員会の性格について

・ 大門委員のお手紙の主旨「20年ほど前に普通ポルトランドセメントに5%までの混ぜ物をして良い事になり、その後化学分析表の持つ意味が大きく変わったはずです。ところが、20年近くもの間、基本的な議論がなされずにISOの動きにどう対処するか、といったような目先の議論だけに終始しているように思われます。基本的な方向性を考える場が必要と、痛感しております。」については当耐久性専門委員会で討議するのではなく、7つの専門委員会のどこかの専門委員会で、検討してもらうように指示すればよいのではないか。

・ 耐久性専門委員会の位置付けがよく分からない。
・ 耐久性委員会の役割は協会の技術幹事会で検討されたのではないか?
・ 耐久性専門委員会の位置付けは、技術幹事会で承認(第94回7/24, 第98回2/19)されたが内容の詰めは十分行われていない。
・ 委員会ありきからのスタートでニーズからの委員会ではないようだ。
・ 耐久性専門委員会の進め方はこの委員会で決めて行けばよい。
・ セメント協会技術委員会傘下の7つの専門委員会の活動概要を報告した。
・ 7つの専門委員会から問題点を提起されたことに対して、本委員会から意見を述べるようにしないと大所高所からの意見とならないのではないか。例えば、7つの専門委員会での主な成果やセメント協会の技術全体のことを当委員会で検討するといい。それは本来セメント協会技術委員会の役目と思うが、外部の我々がいればもっと変わった意見が出るかもしれない。

②岸谷委員会の成果物について

・ 耐久性専門委員会の成果物としては立派な報告書が多数あるが、これを一般の方々が手に入れようとしてもむづかしく、たとえ入手しても細かなことが書かれており読むのも大変である。
・ 凍害外力、気象条件、ひび割れ等、これらの成果物は大変貴重である。しかし、この報告書が出来ただけで終わっている。うずもれていて活用されていない。

③最近のセメントコンクリートの問題点

・ 我々建築屋は中性化についてただ現象面から見るだけで本質的なものが良く判っていない。セメント側からのきっちとした回答が欲しい。また、セメントの種類によって塩化物イオンの拡散速度等を定量的に解るようにしてほしい。
・ 中性化しないセメントが出来れば、耐久性の内の中性化は考えなくてもよいが、他の要因があり、かぶりを0には出来ない。かぶりは中性化だけでなく耐火、構造性能、部材耐力の面から決まるもので、かぶりは重要である。
・ 水セメント比を40%にすると屋外部は中性化しないが、屋内の方から中性化する。
・ コンクリートが中性化して構造物が壊れた事はない。マンションは中性化だけでなく美観の面で5年

に1回位塗装を行っている。首都高速の高欄は中性化がひどく、かぶり0コンクリートもある。

- ・透水性、塩化物の浸透性を小さくし耐用年数を長くするため、高速道路のコンクリートの設計強度24N/mm²を30N/mm²にする（水セメント比を小さくする）動きがある。
- ・水セメント比を60%から50%に下げるのは耐久性向上効果が著しいが、水セメント比を45%、40%に下げてもあまり効果がない。別の弊害（熱応力、ひび割れ等）が出る。
- ・コンクリート製品工場で廃棄物ガラスを使用しているところがあるが、アル骨の問題が予想されるがそのまま使用している。
- ・リサイクル材料を使用したセメント、コンクリートの耐久性を調べる必要がある。
- ・最近各種スラグの利用が多いが高炉スラグは品質が良く分かっているのに対して他スラグは良く分かっていないのではないか。
- ・セメントは何処までリサイクル品を吸収出来るか？ 耐久性の事を考えると歯止めが必要ではないか。リサイクルに対する警告も必要。
- ・今のJISセメントで土木学会、建築学会の基準通りの施工をしていれば殆ど問題はないようだ。
- ・最近多いクレームは、強度不足、ひび割れ、色むらであり、セメントそのものへのクレームは少ない。また、比較的古いコンクリート構造物に多い。
- ・古いコンクリートの不具合は研究対象としてはおもしろいが、施工のデータ、記録が何も残っていないので三方一両損となる。円く収めて、うやむやになる例が多い。たとえ設計が悪くとも役所が認めたものなので設計が悪いと言えない。
- ・クレーム等については各社で対応しており協会では把握していない。業界共通問題についてはセメントコンクリート技術専門委員会が対応している。
- ・普通ポルトランドセメントコンクリートの長期強度の低下が見られるが、フライアッシュを用いたコンクリートはこのような現象は見られない。
- ・原子炉高レベル廃棄物処理は百年オーダーではなく千年、万年が単位なので、コンクリートは初めから対象とされていない。
- ・公共工事費10%縮減は、コンクリートの耐久性を低下させるのではないか。

④耐久性一般等について

- ・東北道の矢板ではオーバーレイ（アスファルト）が早い時期からなされたが、中央道はオーバーレイをするまでの期間が長かった。なぜ壊れなかったのかその原因を解明しオープンにしてもらうと良い。
- ・摩耗に強いコンクリートは考えなくてよいと言う考え方もある。チェーンを使用すると必ず全部だめになるから翌年はオーバーレイされる。水力発電の圧力隧道が摩耗でやられるので、摩耗に強いコンクリートを盛んに考えたがコンクリートは摩耗するもので、圧力隧道の内側を鉄管にする考え方もある。
- ・やんばダムは当初アーチダムで計画されたが、温泉があり湖が酸性水となってコンクリートがやられるので重力ダムに設計変更された。秋田の鎧畑ダムは、PH3か4位でも意外にやられていない。岩手の零石等も同様。
- ・建築ではコンクリートが中性化すると非常に困る。水が入ると必ず鉄筋がさびる被覆すれば良いが被覆がどれくらい信頼出来るかが問題である。大きなクラックは注入補修できるがマイクロクラックだと判らない。
- ・名神高速の橋梁の舗装版に水が浸透し、ポンプ水圧の作用でスラブがやられる問題がある。
- ・鉄は錆びることが判っていて使用するが、コンクリートはそのように認識されていない。

⑤外国の事例について

- ・ユーロトンネルのコンクリートは耐久性設計を基に強度を決めている。
- ・北極海、中近東の厳しい環境でのデータは日本になくゼネコンの海外部隊は困っている。
- 日本としてどうするか？
- ・塩分が地下から浸透してくるので構造物が5年と持たない。シリカフュームを使用しても10年持てば良いほうで15年は分からない。

⑥委員会の進め方について

- ・耐久性委員会が勉強会ではつまらない。勉強会はもういい。
- ・岸谷委員会では分科会で細かいことをやっていたが、耐久性専門委員会はアバウトでよいのではないか。
- ・中味をどうするかはここで決めれば良い。
- ・セメント会社は粉を作り、コンクリート屋が粉を使う。材料が良くても施工が悪いとだめ、施工が悪いのにセメントだけいいのにしてくれと言うのでは問題がある。
- ・学問的にはおもしろいが材料だけで耐久性を論ずるのは疑問である。
- ・酸性水についてはコンクリートは必ずやられるが被覆することで対処出来る。これが耐久性専門委員会の答えだと思うが、セメント協会の答えとしてはそぐわないかも知れない。
- ・セメント業界の耐久性、永続性についてなら何か意見が言いやすい。
- ・耐久性にからんだ核をテーマとして進めないと何をやっていいか分からない。ただ集まっているだけになる。
- ・セメント協会内部だけで議論していると考え方の幅が狭くなる。

(3) 今後の委員会の進め方について

本委員会から4名程度の幹事会委員を選び、当委員会のテーマ案および委員会の進め方を次回委員会に提案することとした。

6. 次回委員会開催予定

日 時 1997年11月12日(水) 15時から17時
場 所 社団法人 セメント協会 第三会議室
　　　　東京都中央区京橋1丁目10番3号 服部ビル4階
議 事 1. テーマ案の検討
　　　　2. その他

以上

第2回耐久性専門委員会議事録

1. 日 時 1997年12月24日(木) 10時~12時30分

2. 場 所 東京都中央区京橋1丁目10番3号

社団法人 セメント協会 第3会議室

3. 出席者(敬称略)

委員長 西澤 紀昭 中央大学
委員長 災重義 新潟大学
友澤 史紀 東京大学
大門 正機 東京工業大学
吉田 八郎 秩父小野田(株)
山崎 之典 日本セメント(株)
城 安市 (株)トクヤマ
中村 卓爾 宇部興産(株)
上野 一恵 電気化学工業(株)
檀 康弘 新日鐵化学(株)
車田 則充 住友大阪セメント(株) 代理出席 小林 茂広
小野 義徳 秩父小野田(株)
森山 容州 セメント協会
セ協 大塩 明, 石原 正浩, 三浦 宏一, 富田 嘉雄,
村田 芳樹, 高橋 茂, 岩下直義

4. 配布資料

- No. 1 議事次第
- No. 2 第1回耐久性専門委員会議事録
- No. 3 幹事会(第1回~第3回)議事録および西澤委員長との打ち合わせ概要
- No. 4 耐久性に関わるキーワード
- No. 5 AAR(アルカリ骨材反応)
- No. 6 コンクリート構造物の耐久性に係わる要因

5. 議事

(1) 議事録の確認(配布資料No.2、No.3)

「第1回耐久性専門委員会議事録」および「幹事会(第1回~第3回)議事録および西澤委員長との打ち合わせ概要」の確認を行い次の訂正を行って了承された。

第1回耐久性専門委員会議事録

- ①大門委員の手紙の主旨を具体的に明記する。
- ②pp3 「以外」→「意外」に訂正した。

幹事会(第1回~第3回)西澤委員長との打ち合わせ概要

- ①pp1 「セメント側に立って」を削除した。

(2) 耐久性専門委員会の進め方について

- 1) 事務局より幹事委員として、吉田八郎委員、宇賀神尊信委員、上野一恵委員、富田六郎委員の4名を選任いたしましたが、富田六郎委員が小野義徳委員に交替したとの報告があった。
- 2) 耐久性専門委員会の進め方について次に示すような意見があった。
 - ①セメント協会・業界への各種（主に研究体制）の要望・提言。
 - ・セメントメーカーとしてコンクリートの耐久性までやる必要があるのか。
 - ・コンクリートの耐久性は材料と施工の両方検討が必要。
 - ・セメント協会は耐久性全般をやるのではなく、材料面をしっかり見て欲しい。
 - ・セメント会社はユーザーのニーズがあれば研究開発をするが、自ら積極的に研究開発、需要開発を行わずいつも後手後手に回っている。
 - ・耐久性で「分かっていること」、「分かっていないこと」の整理が必要。
 - ・鉱物学的、セメント化学的に耐久性の検討が必要と思う。
 - ②我が国のセメント・コンクリートの現状の品質と有るべき姿について
 - ・セメント会社は、本当にユーザーのことを考えて耐久性のあるセメントを作っているか。
 - また、セメント側から見て本当に正しい使われ方をしているか。
 - ・我が国のセメントは過度な高粉末度、高強度ではないのか。セメントの品質を本来の品質に戻すべきではないか。
 - ・我が国のコンクリートは、強度が小さすぎる。高強度化すべきである。
 - ③本専門委員会の進め方について
 - ・セメント協会として取り組むべき課題は多いが、これまで実行されていない。
 - ・必要なことは皆が危機感を持ってやるべきではないか。
 - ・固化材技術懇談会のようにゼネコン、全生、他学協会を巻き込んで懇談会を開くのもよい。

(3) 結論

委員長より、次の3項目についてセメント協会で検討し、半年後の委員会で結論を報告するようとの指示があった。また、中間報告を書面で行う旨を申し合わせた。

- ①セメント協会が中心となった関係学協会を含めたコンクリートの耐久性に関する技術懇談会の実施について
- ②耐久性に関する鉱物学的・セメント化学的研究の実施について
- ③セメントの現状の品質および将来像について検討の場を設置することについて

6. 次回委員会開催予定

日 時 1998年6月、7月頃

議 事

1. 委員長から指示のあった3項目についてセメント協会の対応の件
2. その他

以上

第3回耐久性専門委員会議事録

日 時 1998年12月10日(木) 9時30分~11時
場 所 東京都中央区京橋1丁目10番3号 服部ビル4階
社団法人 セメント協会 第3会議室

出席者	敬称略	
委員長	西澤 紀昭	中央大学
委 員	長瀧 重義	新潟大学
	友澤 史紀	東京大学
	大門 正機	東京工業大学
	吉田 八郎	太平洋セメント(株)
	上野 一恵	電気化学工業(株)
	窪山 潔	三菱マテリアル(株)
	城安市	(株)トクヤマ
	檀 康弘	新日鐵化学(株)
	小野 義徳	太平洋セメント(株)
	中村 卓爾	宇部興産(株)
	小林 茂広	住友大阪セメント(株)
	宇賀神 尊信	セメント協会
セ 協	板橋 正光, 大塩 明, 三浦 宏一, 富田 嘉雄, 村田 芳樹, 高橋 茂, 岩下 直義	

配布資料

No. 1	第2回耐久性専門委員会議事録	セ協
No. 2	コンクリートの耐久性に関するアンケート調査結果	セ協
No. 3	パネルディスカッション進捗状況	セ協
No. 4	耐久性専門委員会の活動概要	セ協

議事

1. 議事録の確認(配布資料1)

第2回耐久性専門委員会議事録の確認を行い次に示す意見があり了承された。

- ・委員会の中で誰が発言したのか、また、後に議事録を見た場合まったく逆の意味に捕らえられるため項目だけでなくその内容を簡単に明記しておく必要がある。

(長瀧委員)

2. 耐久性に関するアンケート調査の件(配布資料2)

コンクリートの耐久性に関するアンケート調査を5月12日に実施した。対象件数約200件(セメント技術大会配布含む)中115件の回答調査結果をセメントコンクリート誌に掲載するため投稿原稿(案)の審議を行い次の内容を盛り込み了承された。

(1) セメントコンクリート誌3月号

- ・紙面の都合上アンケート調査結果のみを投稿する。
- ・3月号の「つづき」であることとアンケート回答者の意見および各委員の感想・コメントを4月号に掲載する旨を「はじめ」の中に記載する。
- ・耐久性専門委員会名で投稿する。

(2) セメントコンクリート誌4月号

委員は再度アンケート調査に対する意見、感想等のコメントを事務局宛送付することを申し合わせた。

3. 耐久性専門委員会の検討課題

第2回耐久性専門委員会('97年12月24日)での検討すべき3つの課題について確認を行

った。

- (1) 「セメント協会が中心となって、他の学協会を含めたコンクリートの耐久性に関するパネルディスカッションの実施の検討」アンケート調査結果を再度見直し材料面からのアプローチでまとめ直す。
「建設廃材リサイクルとコンクリートの耐久性」で検討する。
考え方、誰にパネラーを依頼するか(4~5人)、司会者等の具体的な原案を作成する。
- (2) 「耐久性に関する鉱物学的・セメント化学的研究の調査研究」
J C I、土木学会のコンクリートの耐久性の課題と重複しないセメント協会独自の課題および研究方法の提案を行う。
- (3) 「セメントの現状の品質及び将来像について検討」
この問題は技術幹事会で検討し、具体的テーマが出た場合は各専門委員会に相談することとした。

4. アンケート調査結果について

(1) 回答結果

アンケートの目的は各分野における耐久性に関する現状および問題点などを具体的に把握するためより実際的な調査を行いその結果をパネルディスカッションのテーマ選定の参考および今後の活動に役立たせるためアンケート調査を実施した。

アンケート回答数は、115件あり、これを100%として比率を算出した。

16の設問の回答を全体的に考えるとコンクリートの耐久性を様々な問題点が挙げられているものの早急に対策やアクションを取る問題でなく、言い換れば安定期の中に有り次の時代に示唆を与える方向にアンケート調査結果をまとめセメント・コンクリート誌の原案を作成する。

この中からパネルディスカッションを開く目標を定める事とした。

アンケート調査結果内容

- コンクリートの耐久性に関して現在困っていること、過去に困ったこと、または問題を感じたことがありますか？
約75%が困ったり問題を感じている。
- コンクリートの耐久性に関して関心のあるテーマとして取上げたいものがありますか？
約80%が取り上げたいテーマがある。
①ひび割れ、②塩害、③評価方法、④腐食であった。
- 我が国のセメントまたはコンクリートについて耐久性関連で日頃感じていること
セメントについて約40%、コンクリートについて約85%が何らか感じている。

○パネルディスカッションに関する設問

- ・開催方法は②が多かった。
①テーマを1つ挙げ官学民から講師3名が発表し討論の場を持つ方法に約22%
②パネリスト5名程度から問題提起し討論を行う方法に約58%
- ・参加するに約60%
- ・セメント協会に耐久性に関する協議の場が必要と思っている方が約60%であった。

(2) まとめ方について

アンケート結果を取りまとめるのに①コンクリート(材料)②鉄筋コンクリート③構造体の事を述べているのかを判断してセメントの立場から見たコンクリートの耐久性をピックアップするスタンスを取る必要がある。

5. 耐久性専門委員会終息の件

1997年から2年間にわたりセメント・コンクリートの耐久性に関してセメント協会・業界が取り組むべき事項を検討し、問題点の抽出および対処方法の検討を行いセメント・コンクリートの耐久性に関するアンケート調査結果のセメント・コンクリート誌への投稿およびセメント・コンクリートに関する耐久性のパネルディスカッションを開催し、一応の成果があったと考えられるため本年度をもって終息といたしたい。との説明があり、了承された。

6. 報告書の件

耐久性専門委員会報告書を作成することとパネルディスカッションの内容をセメント・コンクリート誌に掲載することを申し合せた。

7. 次回委員会開催予定

日 時 1999年3月18日（木）16時から17時
場 所 社団法人 セメント協会 第三議室
東京都中央区京橋1丁目10番3号 服部ビル4階

議 事

1. アンケート調査結果のとりまとめ報告
2. パネルディスカッション
3. その他

以上

第4回耐久性専門委員会議事録

日 時 1999年3月18日(木) 16時30分~17時10分
場 所 東京都中央区京橋1丁目10番3号 服部ビル4階
社団法人セメント協会 第3会議室

出席者	敬称略	
委員長	西澤 紀昭	中央大学
委 員	友澤 史紀	東京大学
	大門 正機	東京工業大学
	吉田 八郎	太平洋セメント(株)
	上野 一惠	電気化学工業(株)
	窪山 潔	三菱マテリアル(株)
	城檀 安康	(株)トクヤマ
	小野 義徳	新日鐵化学(株)
	中村 卓爾	太平洋セメント(株)
	小林 茂広	宇部興産(株)
	宇賀神 尊信	住友大阪セメント(株)
セ 協	板橋 正光, 大塩 明, 三浦 宏一, 富田 嘉雄, 村田 芳樹, 岩下 直義	セメント協会

配布資料

No. 1	第3回耐久性専門委員会議事録	セ協
No. 2	コンクリートの耐久性に関するパネルディスカッション	セ協
No. 3	コンクリートの耐久性に関するパネルディスカッション	セ協
No. 4	セメント・コンクリート誌3月号別刷り	セ協
No. 5	セメント・コンクリート誌4月号ゲラ刷り	セ協
No. 6	耐久性専門委員会報告書	セ協

議事

1. 議事録の確認(配布資料1)

第3回耐久性専門委員会議事録の確認を行い了承された。

2. 耐久性に関するパネルディスカッションの件(配布資料2、3)

1999年2月18日(木)に開催した標記パネルディスカッションについての報告があった。

- ・参加人数97名で大盛況であった。
- ・その内容を配布資料2に記載したが、テープから起こしたため若干聞き取れない所がある。
このため割愛したところもあるがなるべく忠実に記載した。
- ・配布資料3は、セメント・コンクリート誌投稿用に縮めた粗案である。

また、この資料をパネラーおよび発言者の方々に送付して内容のチェックをしてもらうこととした。更に、配布資料3については、セメント・コンクリート誌の占有頁から1/3を削除する為に検討して頂くことを申し合わせた。委員も気付きを連絡することとした。

なお、提出期限を4月14日(水)セ協事務局宛、必着とした。

3. アンケート調査結果のセメント・コンクリート誌投稿の件(配布資料4、5)

(1) セメント・コンクリート誌3月号

配布資料4は、セメント・コンクリート誌3月号の別刷りであり、すでに発刊されている。

(2) セメント・コンクリート誌4月号

配布資料5は、3月号のつづきでありアンケート調査結果に対する意見、感想等のコメントを載せたゲラ刷りである。気付きを3月19日までに事務局宛連絡することとした。また、アンケート調査回答者の方々に配布資料4および5を送付することとした。

4. 委員会報告書の件（配布資料6）

この内容についてのご意見、気付きを4月14日（水）までに事務局宛連絡することとした。

5. 耐久性専門委員会終息の件

1997年から2年間わたりセメント・コンクリートの耐久性に関するセメント協会・業界が取り組むべき事項を検討し、問題点の抽出および対処方法の検討を行いセメント・コンクリートの耐久性に関するアンケート調査結果のセメント・コンクリート誌への投稿およびセメント・コンクリートに関する耐久性のパネルディスカッションを開催し、一応の成果があったと考えられるため本日の委員会をもって終息とした。

3. 耐久性専門委員会関係報告

[ひびわれ分科会]

号数	発行年月	表題
H-19	昭和63年4月	ひびわれ抵抗性に及ぼす各種要因の検討(その一) 試験条件の影響
H-20	昭和63年6月	ひびわれ抵抗性に及ぼす各種要因の検討(その二) アジテート時間の影響
H-21	昭和63年10月	ひびわれ抵抗性に及ぼす各種要因の検討(その三) 骨材種類の影響
H-22	1990年5月	コンクリートの乾燥収縮率測定方法の検討
H-23	1992年10月	コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討

[耐久性分科会]

号数	発行年月	表題
D-1	昭和60年4月	耐久性を阻害する要因マップ
D-2	昭和61年6月	耐久性を阻害する要因マップ(その二)
D-3	昭和63年6月	耐久性を阻害する要因マップ(その三)
D-4	1992年12月	コンクリートに及ぼす酸性雨の影響 (模擬酸性雨による促進試験)
D-4別冊	1992年12月	EPM分析カラーマッピング集
資料	1998年3月	酸性雨とコンクリートに関する文献調査

ISBN4-88175-040-2 C3358 ¥2000E

耐久性専門委員会報告

定価：[本体2,000] + 税

平成11年11月20日 印刷

社団法人 セメント協会

平成11年11月25日 発行

東京都中央区京橋1丁目10番3号

服部ビル4階

電話 03(3561)8632代

発行所 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

印刷所 有限会社 プリントニューライフ

東京都千代田区三崎町2丁目12番5号

電話 03(3263)0633

JCA