

◆ 小 特 集 ◆

新たな材料技術

これからのコンクリート材料への期待

魚本 健人*

1. はしがき

現在、わが国の建設は不況のあおりを直接受けているために、施主からも従来とは異なった要求が強く打ち出されている。たとえば①これからは従来のような新設構造物が減少すると予想されているため、より耐久性のある構造物を建設する要求が強く、場合によっては10年以上の瑕疵担保期間を要求されること、②新たな形式の構造物を建設する場合でもより厳しく建設コストの削減が要求されていること、③補修・補強対象となる構造物が増大することが予想され、既存構造物の劣化診断や効率的な補修・補強方法などに対処することが急がれることなどである。このような施主からの要求は、海外での工事や民間発注の建物などの場合には今までもあったが、性能発注が行われるようになった現在では官民を問わず極限近くまで要求され、この要求に応えられないと受注も難しくなりつつある。

このような傾向はこれからますます強くなると予想されるが、コンクリート材料で対処できる問題も種々ある。上記の要求を満足させるためには、たとえば①コンクリート構造物が劣化しにくい高耐久材料の開発・適用、②早期劣化の原因となる施工不良を容易に防止できる自己充填型コンクリートや自己修復型コンクリートの開発・適用、③コスト削減を目指した適材適所のコンクリート材料利用システムなどの開発・適用などが考えられる。

以上のことを踏まえ、本文では主に土木構造物についてプレストレストコンクリート構造物を中心に、期待されるコンクリート材料に対する著者の考えを説明する。

2. 高耐久コンクリート

プレストレストコンクリート構造物の場合、鉄筋コンクリート構造物に比べ一般に部材寸法が小さいため、耐久性の高いコンクリートを使用することが基本である。このため、使用するコンクリートとしては高強度コンクリートであると同時に高耐久コンクリートであることが望ましく、

一般に低水セメント比の高強度・高耐久コンクリートが使用されている。

図-1は土木学会「コンクリート標準示方書」の改定資料に示された参考図で、普通ポルトランドセメントを使用した場合の中性化深さを考慮した必要かぶり厚を示したものである。この図から明らかなように、乾燥環境下と湿潤環境下では必要なかぶりが異なっているが、プレストレストコンクリートのような水セメント比が50%以下のコンクリートを使用する場合には、最小かぶり厚である25mmであっても100年間の使用に十分耐えることができる。

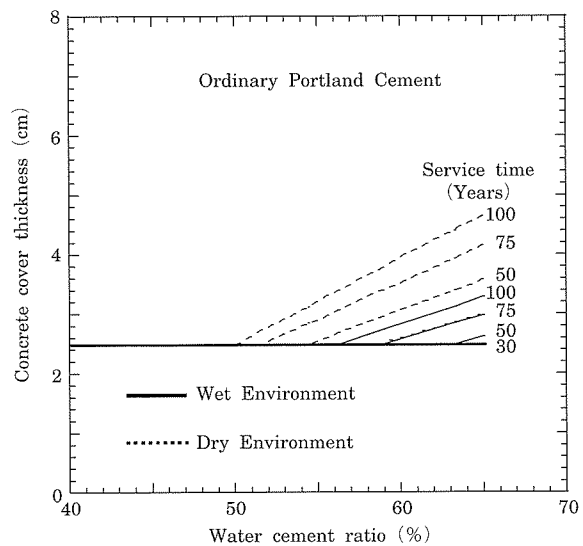


図-1 中性化による鋼材腐食発生限界かぶり厚と水セメント比との関係¹⁾

しかし、図-2から明らかなように、海岸から100m離れた海洋環境下に建設されるコンクリート構造物の場合、塩化物イオンによる鋼材腐食発生に伴うひび割れ発生限界かぶりは水セメント比が40%の場合であっても50年で50mmは必要となる。当然100年後の場合にはより大きなかぶりが必要となり、従来使用されてきたかぶりでは不十分であることになる。このことは、日本海側の海岸淵に建設されたコンクリート橋梁では鋼材の腐食が著しく、建設後20年程度でかなりの劣化が認められていることから理解できよう。

かぶりを50mm以上とすることは橋脚等のマッシュな下部構造物の場合には十分対処することができるが、プレストレストコンクリート橋梁のような上部構造物の場合には自重が大きくなり対処することが難しい。厳しい海洋環境下におけるプレストレストコンクリートの耐久性を確保す



* Taketo UOMOTO

東京大学生産技術研究所
都市基盤安全工学国際研究センター
教授

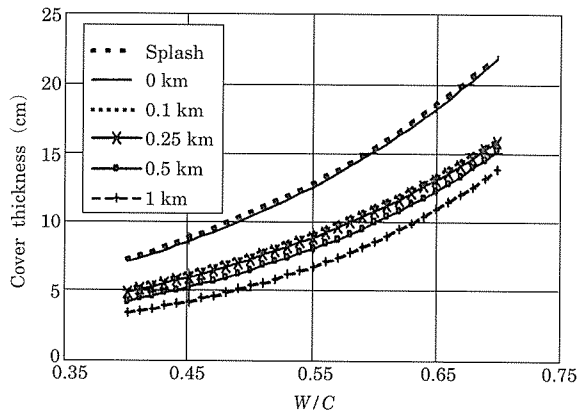


図-2 建設後50年での塩化物イオンによる鋼材腐食発生にもなうひび割れ発生限界がぶりと水セメント比の関係¹⁾

るためには外側のかぶりが大きくても十分対処できるようなボックス型の新しい構造形式の開発や、外部からの塩化物イオンの浸透を防止できるような材料（樹脂含浸コンクリート（PIC）などを含む）の適正利用方法の開発などが考えられよう。

3. 初期欠陥の生じないコンクリート

表-1に示すようにコンクリートはさまざまな原因で劣化するが、その主たる原因は環境であり、アルカリ骨材反応や海産骨材などの材料に起因する劣化や通行車両などによる繰返し荷重などもある。

施工不良などによる初期欠陥はコンクリートの劣化ではないが、初期欠陥があるコンクリート構造物は劣化が早い。事実、劣化したコンクリート構造物を調査すると、施工時に発生した初期欠陥（ジャンカ、コールドジョイント、収縮ひび割れなど）がある場合にはその他の部分と比較して劣化速度が著しく早くなる。このことは図-3に示すように既存のコンクリート構造物の中性化深さの違いなどに

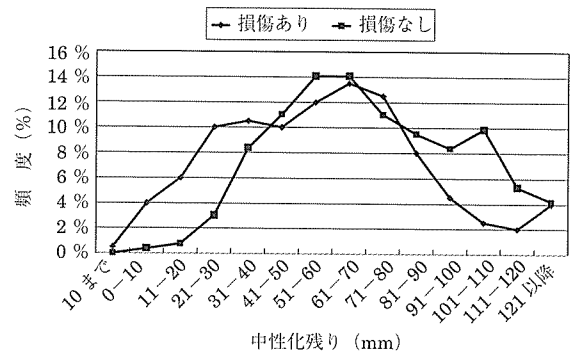


図-3 初期欠陥の有無と既設コンクリート構造物の中性化残り²⁾

あらわれている。すなわち、初期欠陥のある場合には、初期欠陥のない場合に比べ平均で10 mm以上中性化深さ大きい。このようなことから、いかに初期欠陥のないコンクリート構造物を設計・施工するかが重要なポイントとなる。

初期欠陥の多くはコンクリート充填不良によるもので、結果的にジャンカ、コールドジョイントなどが生じているといえよう。これを防止することを目的として、岡村・小澤らが世界で初めて「自己充填コンクリート」³⁾を開発した。このコンクリートはわが国ばかりでなく欧米諸国を含めた諸外国において大量に使用されるようになったが、わが国の場合にはその使用量がそれほど増大していない。その原因は自己充填コンクリートの値段が高いことやコンクリートの品質管理が大変であることなどがあげられる。しかし、1999年に発生した山陽新幹線のトンネルコンクリートの剥落事故の原因となった「コールドジョイント」の場合のように、内部振動機が使用できない場合や過密配筋のため内部振動機で十分充填することができないなどでは、この種のコンクリートをうまく利用することが重要であろう。

プレストレストコンクリートの場合には、PC鋼材の保護のためにも完全充填の行えるグラウトが重要となる。この

表-1 コンクリートの劣化と対策

劣化の種類	分類	原因	対策
摩 耗	環境	砂等による磨り減り	骨材選定, 配合選定
疲 勞	外力	反復荷重の作用	疲労限界以下の応力に設計
凍結融解	環境	内部水の凍結融解繰返し	AE剤による空気泡の連行
アルカリ骨材反応	材料	骨材とアルカリの化学反応	反応性骨材の排除, アルカリ量の制限
鋼材腐食 (中性化)	環境	炭酸ガスによるコンクリートのアルカリ性の喪失	かぶりの増大, 表面コーティングなど
	材料	コンクリート含有塩化物による腐食	海砂の除塩, 材料中の塩分規制
鋼材腐食 (塩分)	環境	コンクリート中への塩化物浸透	かぶりの増大, 低W/C, コーティング, 塗装鉄筋の使用, 電気防食
	材料	水和物と酸等の化学反応	かぶりの増大, 低W/C, コーティングなど
微生物, 酸等	環境	水和物と酸等の化学反応	かぶりの増大, 低W/C, コーティングなど
硫 酸 塩	環境	海水などからの塩による膨張など	耐硫酸セメントの使用
高温・火災	環境	水和物組織の破壊, 水分の蒸発	表層コンクリートの防護など
ひび割れ (外力など) ひび割れ (温度など)	外力	荷重等による反応	配筋, 安全係数, 配合
	環境	変形の拘束	変形制御, 拘束制御, 用心鉄筋
その他 (施工不良)	材料	コンクリート材料および配合不備	コンクリート製造時管理, 運搬管理
	施工	かぶり不足, グラウト充填不足など 充填不良 (ジャンカ), 打継ぎ不良 (コールドジョイント), 材料分離, 養生不足など	配筋管理, グラウト管理 施工時の打設, 養生管理

(注) ひび割れそのものは劣化に起因するとは限らない。また、施工不良も劣化ではない。

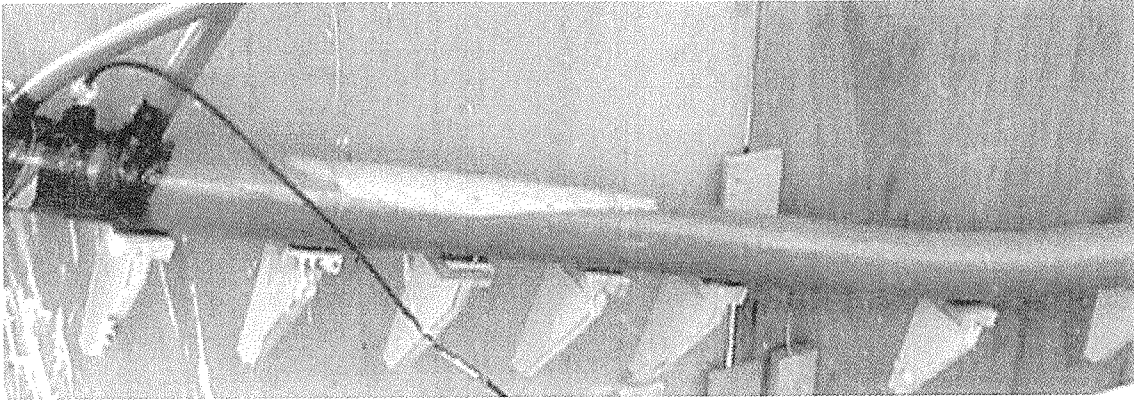


写真-1 グラウト時に発生した注入孔近傍の空隙⁴⁾

グラウトは分離しやすく、振動締め固めなどを行うことができないため、注入材料の開発と注入工法の開発が不可欠である。現在までの研究結果では分離の少ない粘性の高い材料をグラウトとして利用することが必要で、空気抜き箇所以外にも注入圧力などが重要な因子になっている。流動性の高いグラウト材料を用いると、注入孔からのグラウトが先流れを起こし下端からグラウトが充填されてしまうため、結果的に注入側のシース内やベント部上部に写真-1のような空隙が発生する。これを防止する方法としては、適正な箇所に空気抜き孔を設けるとともに、図-4および図-5に示すグラウトの塑性粘度、注入圧力、注入流量、空隙面積などをコントロールすることで完全充填を行うことができる。この場合に重要なことは、使用するグラウトポンプ

に適合し、現場でも容易に製造のできるグラウト材料を開発することであろう。なお、注入後にグラウトの充填度を測定できる非破壊検査の開発も必要であろう。

なお、コンクリートに発生したひび割れを自己修復するコンクリートの開発が行われている⁷⁾。その原理としてさまざまな手法が検討されているが、この種のコンクリートが開発できれば収縮ひび割れなどを修復することができるため、初期欠陥による早期劣化を防止する上で役に立つといえよう。

4. コスト低減型材料利用システム

現在、コンクリートの分野では多くの産業副産物の有効利用を図っているが、これからはさらに再生骨材、エコセメントなど従来あまり使用されてこなかった材料が使用されるようになる予想される。すなわち、現在のJISなどに示されている基準に合格する材料ばかりを使用するのではなく、性能発注に伴いそのほかの材料も使用せざるを得なくなると予想される。

この場合、材料そのものの単価は必ずしも低減しない可能性もあるが、わが国ひいては全世界の環境の汚染を防止する費用が含まれていると考えていく必要がある。そのためには、高強度、高耐久など特別な配慮の必要なコンクリートとそうでないコンクリートとを適材適所で利用するシステムを構築する必要がある。また、この種の材料を使用する場合には国の政策としても環境保護のための活動とみなし、ある程度の補助をだす必要がある。とくに各種の

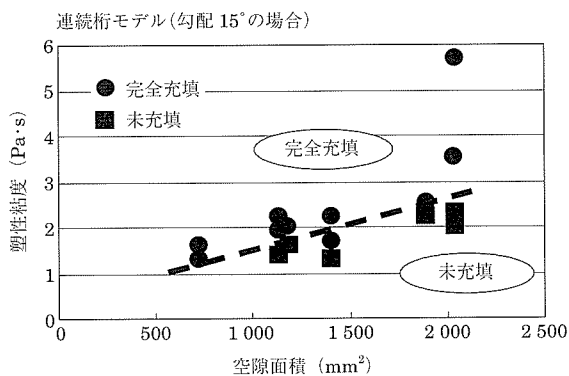


図-4 完全充填の行えるグラウトの塑性粘度と空隙面積⁵⁾

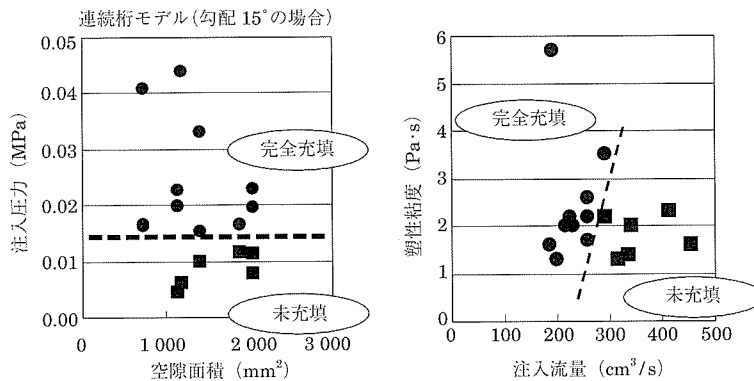


図-5 完全充填の行えるグラウトの注入圧力、空隙面積、塑性粘度と注入流量の関係⁶⁾

廃棄物を資源として使用する場合には、のちのち問題となるイオンなどが含まれる可能性があり、耐久性ばかりでなく環境に対する配慮が重要である。廃棄物に含まれている重金属イオンなどについてはきちんと検討した上で使用すべきであり、後世に問題を先送りしてはならないといえよう。

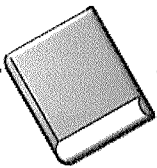
5. あとがき

本文は、プレストレストコンクリート構造物を念頭において、主に土木構造物を対象としてこれから期待されるコンクリート材料に対する著者の考えを説明した。すぐに実施されるものもあるが、開発にさらに長い年月を必要とするものも存在する。この文が何らかの形でプレストレストコンクリートに携わる技術者に参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会 「平成 11 年版 コンクリート標準示方書〔施工編〕－耐久性照査型－ 改訂資料, コンクリートライブラリー 99, 1999
- 2) 建設省, 運輸省, 農林水産省: 土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言, 平成 12 年 3 月
- 3) 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅著: ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版, 1993
- 4) 西村蘭果: PC グラウトのレオロジー特性及び注入条件が充填性に与える影響, 東京大学修士論文, 2000
- 5) 樫村能成, 魚本健人: シース及び PC 鋼材の径の違いが PC グラウトの充填性に及ぼす影響, 土木学会第 57 回年次学術講演会概要集, V-621, pp.1241-1242, 2001
- 6) 宮本一成, 魚本健人: PC グラウトの充填性に影響を与える各種要因に関する基礎研究, 生産研究, 投稿中
- 7) 下村哲雄, 細田暁, 岸利治: 低水粉体比の膨張コンクリートのひび割れ自己修復機能, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.661-666, 2001

【2003 年 2 月 6 日受付】



●刊行物案内

- PC斜張橋・エクストラドーズド橋
設計施工規準(案)
- PC吊床版橋設計施工規準(案)
- PC橋の耐久性向上マニュアル

(平成12年11月)

頒布価格: 3点セット 会員特価 6 000 円(非会員価格 7 200 円)(送料はいづれも 600 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会