

コンクリートの耐久性向上技術に関する調査研究

小 林 茂 敏*
箕 作 光 一**

1. ま え が き

建設省では、総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」（以下では総プロと呼ぶ）を昨年春を終えた。昭和 60 年度から 3 か年をかけ、多くの学識者ならびに民間諸団体に御協力頂いた大きな研究プロジェクトであった。

本文ではこの総プロが必要になった背景を含め、主として土木構造物およびその建設に用いられるコンクリートの耐久性向上のために行った調査研究の結果の概要について紹介する。

2. 総プロの背景

昭和 50 年代の中頃、東北地方の日本海に沿って延びる国道を管理する工事事務所から、鉄筋が腐食したりコンクリートが剝離したコンクリート橋の補修対策の問合せが土木研究所にあった。このため、土木研究所では被害を受けた橋梁の調査を開始していたが、その際、同様な劣化損傷が海岸付近に位置するコンクリート橋に少なからず認められた。そこで、道路局や土木研究所では昭和 57 年にコンクリート橋の全国的な実態調査を実施するとともに、その結果に基づいてこの劣化損傷の原因や補修補強対策の検討に着手した。

同じ頃、阪神高速道路公団では、橋脚に発生したひびわれの発生原因の調査を材料学会等と共同で行っていた。その結果、ひびわれの発生原因がわが国でほとんど発生していないと考えられていたアルカリ骨材反応に伴う膨張現象であることをつきとめ、さらにその機構の解明や補修補強対策を見出すための精力的な調査研究を開始した。

一方、建築関係においても、昭和 58 年ごろ鉄筋コンクリート造りマンション等に多発したひびわれやそれによる雨漏り等がマスコミで取り上げられた。その多くは、劣化損傷の原因を海砂を洗わないで使っていたり一般に知られていないコンクリートの奇病によるものとして捉え、半永久的に寿命が長いとされていたコンクリート構造物にも大きな危機がせまっていると報じた。

* 建設省土木研究所コンクリート研究室長

** 建設省土木研究所橋梁研究室研究員

また、荒廃するアメリカと称して、道路等の膨大な社会資本を抱えたアメリカで増大する管理費に財源が追いつかず、補修を待つ構造物が多くなっていることがわが国に紹介されたのも同じ頃であった。

このような背景の下に、建設省ではコンクリート構造物の耐久性を総合的に検討し、その向上のための諸技術を開発するために今回の総プロを発足させたのである。

3. 調査研究の概要

3.1 調査研究の体制と項目

この総プロの実施にあたっては、土木研究所や建築研究所あるいは民間の研究機関等で調査研究を行い、それらの結果について（財）国土開発技術研究センターに設けられた学識者、官庁、民間の関係者からなる「コンクリートの耐久性向上技術検討委員会（委員長：岡田 清 京都大学名誉教授）」の中で 審議検討して頂く形がとられた。

調査研究の対象になったのは、コンクリートの主要な

表-1 総プロにおける主要な調査・研究項目

研究対象	課 題	調 査 研 究 項 目 等
塩 害	I. 実 態 調 査	コンクリート構造物の外観調査 腐橋による劣化詳細調査 生コン塩分量実態調査 飛来塩分量調査 防食技術の開発
	II. 耐久性能改善技術の開発	
	III. 劣化診断技術の開発	非破壊試験技術の開発 劣化診断技術の開発
	IV. 補修・補強の技術の開発	補強・補修技術の施工性試験 および暴露試験
アルカリ骨材反応	I. 実 態 調 査	被害構造物調査 岩石・骨材反応性調査
	II. 骨材使用基準の開発	鉱物学的方法による試験の検討 化学的試験による試験の検討 モルタルバー、コンクリートバーによる試験の検討 簡易試験方法の開発
	III. 防止技術の開発	無害化技術の開発
	IV. 補修技術の開発	補修材料および施工法の検討 診断・残存耐力の検討
施 工	I. 施工精度の向上	施工に関する実態調査 かぶり厚さの実態調査 施工精度の改善方法に関する調査
	II. 施工機械の改善開発	圧送性測定方法の検討

早期劣化の原因と考えられた塩害、アルカリ骨材反応、施工の3項目であった。表—1 に土木構造物に係わる調査研究の項目を示す。塩害関係では実態調査、耐久性改善技術の開発、劣化度診断技術の開発、および補修補強技術の開発に関する調査研究が実施された。アルカリ骨材反応関係では実態調査、骨材使用基準の開発、劣化防止技術の開発、および補修補強技術の開発に関する調査研究が行われた。施工関係に関する調査研究は、施工精度の向上技術の開発、施工機械の改善および開発に必要なものであった。以下、主要な調査研究の内容について簡単に説明する。

3.2 塩害関係の調査研究

実態調査に関する調査研究としては、コンクリート構造物の外観調査、廃橋を対象とした劣化詳細調査、生コンの塩分量調査、飛来塩分量調査等が行われた。

コンクリート構造物の外観調査は、内陸部も含めて建設省の管理する橋、水門、護岸等が対象となった。その結果、塩害による劣化損傷は東北、北陸等の日本海沿岸に位置する構造物に多く発生しており、その原因が海から飛来する塩分によることが確認された。

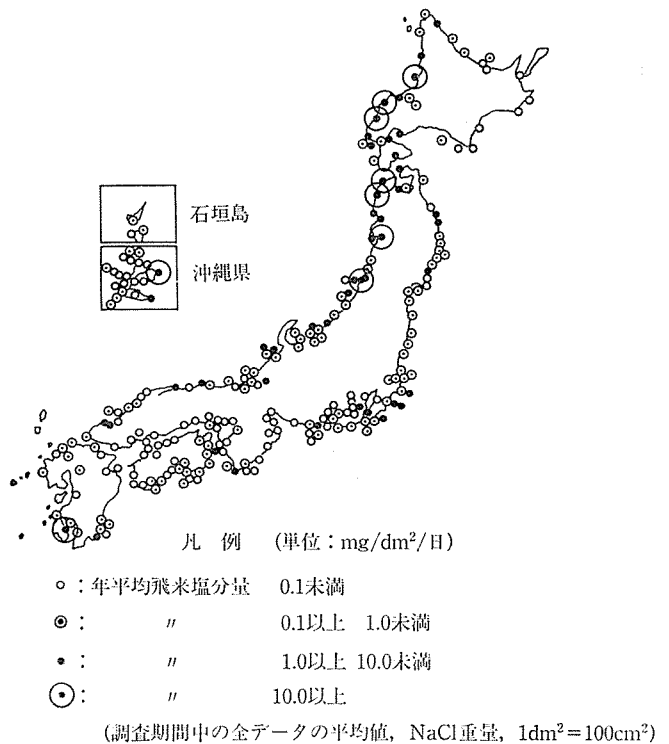
廃橋を対象とした劣化詳細調査では、塩害による劣化損傷が顕在化していた2つの鉄筋コンクリート橋を対象に、コンクリート中の塩分量と鋼材の腐食の関係、各種非破壊試験技術の実用性、塩分の簡易測定方法等について検討が加えられた。これによって、鋼材の腐食は塩分量が1.5~2.5 kg/m³ (Cl⁻重量)程度になると生じ易くなることや電位差測定によって鋼材の腐食度をある程度推定できること等の結果が得られた。

生コンの塩分量調査は、前述の外観調査や既往の暴露試験の結果、あるいは海外の規定値を総合的に検討して定められたコンクリート中の塩化物総量規制値(一般の構造物:0.6 kg/m³, プレテン部材等:0.3 kg/m³ (Cl⁻))について、その管理状況を把握するために行われたものである。

飛来塩分量測定は、全国158地点で3カ年にわたって行われた。その結果、図—1に示すように飛来塩分量は北海道、東北、北陸地方の日本海側や沖縄県で特に多く、瀬戸内海地方では少ないことなどが確認された。

耐久性改善技術の開発に関する調査研究では、新しい防食技術である電気防食の実用性を調べるため、小型供試体による暴露試験や実橋への適用性試験が行われた。また、生コンの塩分量を簡易に測定するための各種試験機器についても検討が加えられた。

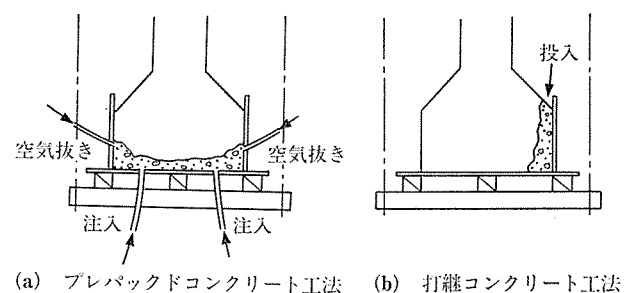
劣化度診断技術の開発に関する調査研究では、電位差測定技術が対象となった。その結果、この技術は鉄筋の腐食状況を非破壊で判定する方法として有効であること



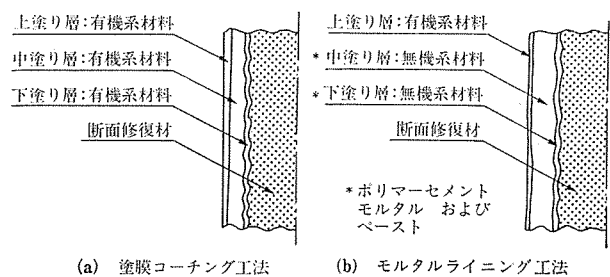
図—1 飛来塩分量の全国分布(沿岸部)

が理解された。また、非破壊試験技術としてかぶり厚さを非破壊で測定する方法について検討が加えられ、電磁誘導式のパコメータでも使用法を工夫すれば、3 cm程度以下の薄いかぶりの場合にはかなりの精度でかぶりの推定が可能であることが確認された。

補修補強技術の開発では、上述の劣化詳細調査の対象とした2つの鉄筋コンクリート橋を対象に、図—2に示すような無機系の材料を用いた断面修復工法や有機系お



図—2 総プロで検討した断面修復工法の概念図



図—3 総プロで検討した表面被覆工法の概念図

よび 図—3 に示すような無機系の材料を用いた表面被覆工法の施工性試験が行われ、各種工法の特徴が把握された。

3.3 アルカリ骨材反応関係の調査研究

実態調査に関する調査研究としては、被害を受けている構造物の調査、岩石・骨材の反応性調査等が行われた。

このうち、構造物の調査では、コアによる骨材の反応性や膨張性の分析測定、構造物の外観劣化状況等について調べられた。また、岩石・骨材の反応性調査では、全国の主要な砕石が収集分析され、反応性骨材の分布状況や岩種別の反応性の特徴等が把握された。

骨材使用規準の開発に関する調査研究としては、無害でそのまま使える骨材であるかどうか、つまり骨材の反応性の試験方法を開発するため、鉱物学的試験、化学的試験、モルタルバーやコンクリートバーによる試験、および簡易試験方法等について検討、改善が加えられた。

防止技術の開発に関する調査研究では、反応性骨材を用いてもアルカリ骨材反応を生じさせない技術を開発するため、主にコンクリート中のアルカリ量と骨材の反応性および高炉セメントの適用性等が検討された。その結果、高炉セメントにはアルカリ骨材反応の防止効果があることや、コンクリート中の総アルカリ量が 3 kg/m^3 程度以下の場合にはアルカリ骨材反応が生じにくくなることが確認された。

補修技術の開発に関する調査研究では、アルカリ骨材反応によってひびわれの発生した構造物の耐力の調査やひびわれの注入工法およびコンクリート表面の被覆工法等の各種補修方法についての検討が行われた。

3.4 施工関係の調査研究

施工精度の向上技術の開発に関する調査研究では、施工の実態調査、構造物のかぶりの実態調査、および施工精度の改善方法の調査等が行われた。

このうち、施工の実態調査および構造物のかぶりの実態調査は多くの構造物を対象に行われたが、スペーサーが適切に使用されていないことや、かぶり値をどのくらいとればよいのかを図面に書かれていないため、施工者がかぶりの値がわからないままに鉄筋の組立てや型枠の設置をしている例が多いことが確認された。

施工機械の改善技術の開発に関する調査研究では、主にポンプの圧送性について検討が加えられた。これによって、現在一般に使用されているポンプでもスランプ 8 cm 程度のコンクリートの場合には、 $100 \sim 200 \text{ m}$ の圧送が可能であることが確認された。

なお、以上の他に施工関係の調査として養生期間（型枠存置期間）がコンクリートの品質に及ぼす影響につい

て実験的に検討が加えられた。

4. 主要な成果

今回の総プロでは、短期間に多くの項目に対する答えを出さなければならず時間的な制約があったが、PC 建設業協会をはじめ多数の方々の協力があり多くの成果が得られた。

以下には、そのうち指針のような形式にまとめられた成果の概要を紹介する。なお、ここで（案）と付しているのは、研究成果として作成されたものであることを意味しており、建設省より通達等がなされていないものであることに注意して頂きたい。

4.1 塩害関係

（1）「コンクリート中の塩化物総量規制について」

まだ固まらないコンクリート中の塩化物総量の許容値を、一般の構造物の場合に $0.6 \text{ kg/m}^3 (\text{Cl}^-)$ 、プレテン部材等の場合に $0.3 \text{ kg/m}^3 (\text{Cl}^-)$ と規定したもので、昭和 61 年 6 月に建設大臣官房技術審議官から通達された。この通達中の値は、その後に作成された土木学会の標準示方書や生コン JIS 規格などにも反映されている。

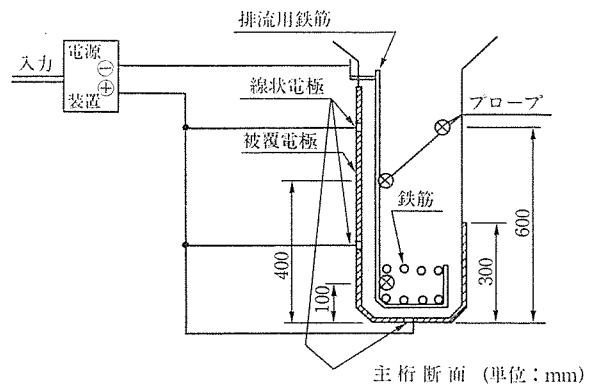
（2）沿岸土木構造物設計施工指針（案）

今回の総プロが始められる前に道路橋を対象とした「道路橋の塩害対策指針（案）」（昭和 59 年 2 月、建設省通達）が示されていた。今回の指針（案）は、これを一般の構造物すべてに拡張されたもので、前述した塩害関係の調査研究の結果に基づいて、塩害対策を必要とする地域、鋼材のかぶり、コンクリートの品質、施工上の留意事項等が示されている。

（3）塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）

波しぶきや潮風の影響を受けているコンクリート構造物の点検、補修等に関する一般事項が示されたものである。主要な項目は、点検、補修および劣化防止の必要性の判定、補修および劣化防止、追跡点検となっている。

（4）塩害防止のためのコンクリート構造物の電気防食要領（案）



図—4 橋梁の電気防食施工例

電気防食とは 図-4 のようにコンクリートに弱い電流を流し、鉄筋の腐食を防止する方法である。この要領(案)には、電気防食を行う場合の電極材料、施工方法等に関する内容が示されている。

4.2 アルカリ骨材反応関係

(1) アルカリ骨材反応暫定対策

昭和 61 年 6 月に建設大臣官房技術審議官から「コンクリート中の塩化物総量規制について」とともに通達されたものである。この通達では、アルカリ骨材反応対策として (i) 反応性骨材を用いない、(ii) 低アルカリセメントを使用する、(iii) 高炉スラグを使用する、(iv) アルカリ総量を 3 kg/m^3 以下とする、のいずれか一つを選定して対策を講じなければならないとしている。なお、昭和 63 年の研究終了時には高炉スラグ以外にフライアッシュの使用による対策も含めた改訂案が示されている。

(2) 骨材のアルカリ骨材反応性試験方法

標準的な試験方法として、化学法とモルタルバー法の 2 種類が示されている。また、簡易にアルカリ骨材反応性を調べるいくつかの方法がまとめられている。

(3) アルカリ骨材反応被害構造物の補修・補強指針(案)

アルカリ骨材反応によりひびわれの生じた構造物の補修の考え方や補修材料の選定方法が示されている。

4.3 施工関係

(1) 土木構造物の配筋マニュアル

主としてかぶりの確保をするための方策が示されたもので、具体的な内容は、かぶりの設計図面での記入方法やスペーサーの配置方法に関するものとなっている(図-5 参照)。

(2) 土木構造物における無筋・鉄筋コンクリートの施工マニュアル

このマニュアルは、建設省の土木工事共通仕様書の改訂のためにとりまとめられたものである。例えば、スランプは 8 cm 以下を標準とし、高炉セメントは普通ポ

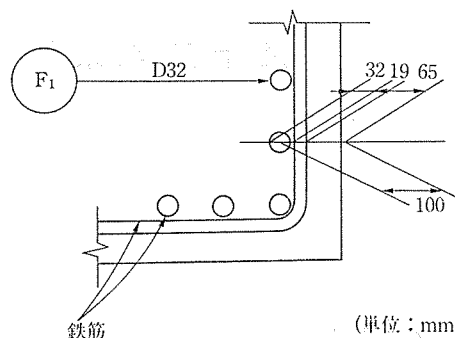


図-5 かぶりの記入例

表-2 土木構造物における無筋・鉄筋コンクリートの施工マニュアルの規定の一例

3.1.14 養生

1. コンクリートは、打込み後、硬化に必要な温度および湿度条件を保ち、有害な作用の影響を受けないように、十分これを養生しなければならない。
2. コンクリートの露出面は養生用マット、布等をぬらしたものでこれを覆うか、または散水、灌水を行い、少なくとも次表の期間常に湿潤状態を保たなければならない。

高炉セメントB種	普通ポルトランドセメント	早強ポルトランドセメント
7日以上	5日以上	3日以上

3. 温度制御養生を行う場合には、温度制御方法および養生日数を、コンクリートの種類および形状寸法を考慮して、適切に定めなければならない。
4. 蒸気養生、その他の促進養生を行う場合には、コンクリートに悪影響をおよぼさないよう養生を開始する時期、温度の上昇速度、冷却速度、養生温度および養生時間等を定めなければならない。

ランドセメントの場合よりも 2 日程度湿潤養生期間を長くするのがよいこと等を示されている(表-2 参照)。

5. あとがき

本総プロの実施にあたっては、岡田 清 京都大学名誉教授をはじめとする学職者ならびに PC 建設業協会をはじめとする関係者に御協力頂いた。ここに厚くお礼申し上げる次第であります。

【1988 年 10 月 18 日受付】