

農業施設構造物のコンクリート劣化の現状分析と補修の試み

Current State and a New Rehabilitation Technique for the Deteriorated Concrete Structures on the Development Projects of Agriculture and Rural Areas

藤本直也[†] 長束 勇[†]
(FUJIMOTO Naoya) (NATSUKA Isamu)

I. はじめに

コンクリート構造物は、安全性や経済性の面で優れた特性を有するため、わが国の社会資本の骨格を形成するものとして、膨大なコンクリート構造物が建設され供用されてきている。

かつてはその耐用年数が大きいため、維持管理についてあまり考慮されることはなかった。しかしながら最近では、コンクリートの信頼性が問われている。その契機となったのは、平成11年6月に発生した山陽新幹線福岡トンネルにおけるコンクリート塊崩落事故である。

このようなコンクリート構造物の信頼性を損ねかねない事故が発生したことも踏まえ、改めてコンクリート構造物の耐久性を維持・向上させる観点から、農林水産省、運輸省、建設省の3省合同で「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」を設置し合同調査を行い、平成12年3月には委員会としての調査結果および提言を発表している。

ここでは、主に農業工学研究所施設研究室がこの合同調査に協力した農業用施設におけるコンクリート構造物の現況調査結果の一部を紹介するとともに、当研究室で行っている補修に関する研究内容についても言及する。

II. コンクリート構造物調査の方法と着目点

1. 基本調査

基本調査の着目点は、次の5点である。

- ① 問題のありそうな構造物が全国にどの程度あるのか。
- ② 年代による差があるのか。特に、高度成長期の構造物に問題があるのか。
- ③ 構造物の種類により劣化状況に差があるのか。
- ④ 地域や周辺環境により差があるのか。
- ⑤ 点検や補修・補強の実態はどのようになっている

のか。

基本調査においては、構造物の種別、構造物の竣工年、地域および周辺環境にかかるデータの偏りをなくすよう調査個所が選定され、設計基準強度、点検・補修の実態等構造物の概要、周辺環境および目視点検による劣化状況が調査された。その数は3省合計で2,645件である。そのうち、農林水産省所管構造物の調査対象は、擁壁、橋梁下部工、用水路、河川構造物の4種307地点311件であり、各農政局等の調査担当者が、調査個所の施工記録や目視に基づき調査票を提出している。これら全国の調査対象個所の竣工年代別個所数は、表-1に示すとおりである。

2. 詳細調査

詳細調査の着目点は、次の5点である。

- ① 中性化の速度の把握
- ② 既存の構造物における設計基準強度確保の実態の把握
- ③ 圧縮強度と劣化状態の関係の把握
- ④ かぶり厚さ確保の実態の把握
- ⑤ 含有塩化物イオン濃度の実態の把握

農林水産省所管構造物の詳細調査個所は、目視により平均的な品質と思われる16カ所の構造物を平均事例個所として選定するとともに、基本調査結果において変状

表-1 基本調査対象構造物の竣工年代別個所数

竣工年区分	擁壁	橋梁下部工	用水路	河川構造物	計
～1964	12	17	16	21	66
1965～1974	12	21	25	24	82
1975～1984	20	15	19	23	77
1985～	19	24	16	23	82
計	63	77	76	91	307

[†] 農業工学研究所造構部



コンクリート、老朽化診断、補修・補強、レジンコンクリート

が認められた地区の中から、写真判定の上、かなり品質が悪そうな15カ所を劣化事例個所として選定し、合計31カ所につきコア抜き取り調査を実施した。

III. 調査結果

詳細調査結果(31カ所)は、以下のとおりである。

1. 施工・環境条件による劣化状況分析

(1) 竣工年区分による劣化状況 竣工年区分による劣化状況を各変状の合計割合(延べ変状率)で示すと、図-1のとおりである。延べ変状率のみならず、各変状率も竣工年代が古いほど高くなっている。また、古い構造物ほど、コンクリートの低品質や配筋不良に起因すると考えられる鋼材露出やさび汁の比率が高い傾向がみられる。

(2) 周辺環境区分による劣化状況 海岸からの距離、周辺の土地利用や気象環境と、各変状状況との明確な関連は認められず、これら周辺環境が劣化に与える影響は少ないものと考えられる。

2. コンクリート物性による劣化状況分析

(1) 中性化深さ 現地での構造物の中性化の進行は、コンクリートの吸水状態やCO₂濃度等の周辺環境の影響を受ける。したがって、密実でないコンクリート構造物は、環境条件により中性化が進む傾向があるが、どんな環境でも必ず中性化が進行するわけではない。そこで、調査結果から総体としてどのようなことが言えるのかを分析した。

- ① コア圧縮強度と中性化深さ：コア圧縮強度と中性化深さとの関係を、図-2に示す。コア圧縮強度が大きくなるほど、中性化深さの変動幅が小さくなるという関係が見られる。
- ② 圧縮強度の比と中性化深さ：設計基準強度に対するコア圧縮強度の比率(圧縮強度比)と中性化深さとの関係を、図-3に示す。圧縮強度比が大きいほど、中性化深さの変動幅が小さくなる傾向が見られ

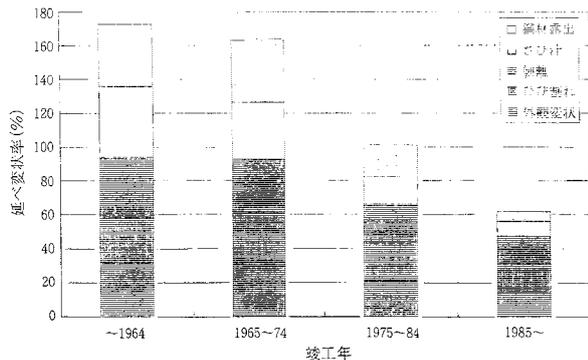


図-1 竣工年区分による劣化状況

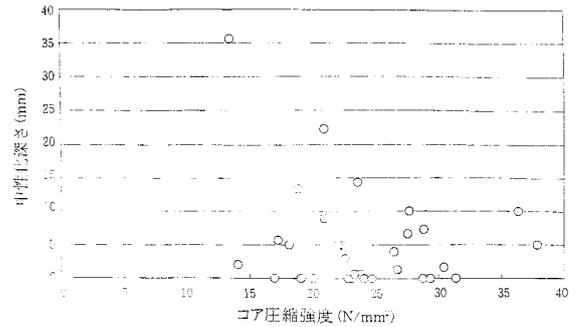


図-2 コア圧縮強度と中性化深さとの関係

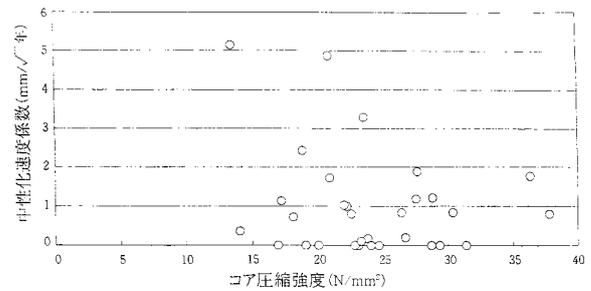


図-3 コア圧縮強度と中性化速度係数との関係

る。

- ③ 供用年数と中性化深さ：供用年数と中性化深さとの関係を、図-4に示す。図中に記入した曲線は、それぞれの水とセメントの割合(W/C)のときの岸谷式¹⁾による予測値を示したものであるが、中性化深さをこの曲線と比較すると、29件(94%)の測定個所でW/Cが60%の場合の予測曲線を下回っている。土木コンクリート構造物では、鉄筋のかぶり比較的大きく取られていることと合わせて考えると、コンクリートの中性化が主な原因となって構造物が劣化している事例は非常に少ないと考えられる。また、データ数が少ないので必ずしも明確ではないが、一部に、経過時間の平方根に比例して中性化深さが大きくなるという施工不良等の傾向が認められ

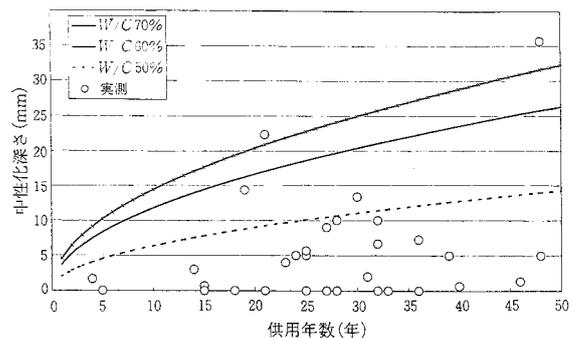


図-4 供用年数と中性化深さとの関係

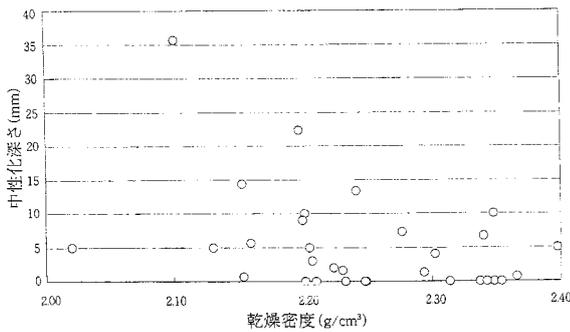


図-5 乾燥密度と中性化深さとの関係

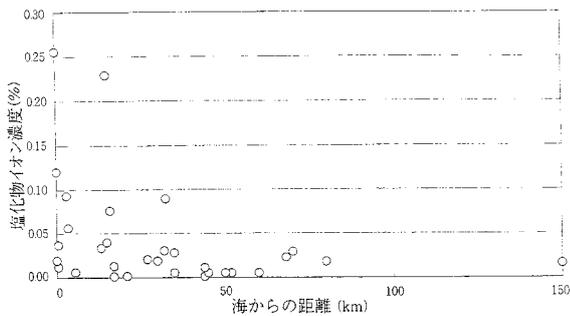


図-6 塩化物イオン濃度と海からの距離との関係

る。

④ 乾燥密度と中性化深さ：コアの乾燥密度と中性化深さとの関係を、図-5に示す。中性化深さは、乾燥密度が大きくなるに従い小さくなる傾向が見られる。乾燥密度は、使用されている骨材の比重等に大きく影響されるので断定はできないが、密実なコンクリートほど中性化が進行しにくいことを表していると判断される。

(2) 塩化物イオン濃度 構造物表面から4～6cmの位置の塩化物イオン濃度と海からの距離との関係は、図-6に示すとおりである。塩化物イオン濃度は、初期塩分(内在塩分)と飛来塩分に影響されると考えられるが、海から近いところで高濃度傾向がみられることから、塩化物イオン濃度は飛来塩分の影響をより強く受けていると考えられる。

(3) コンクリート物性の相関関係 今回調査した個所のコアの乾燥密度の平均値は2.24 g/cm³であった。吸水率、ヤング率、乾燥密度の各値とコア圧縮強度との関係では、吸水率が小さくなるほど圧縮強度が大きくなる、圧縮強度が大きくなるほどヤング係数も大きくなる、乾燥密度が大きくなるほど圧縮強度も大きくなるといった、通常のコンクリートが示す物性関係が確認できた。

IV. 現状分析結果と今後の方向

委員会は、3省が所管する全国のコンクリート構造物

の現状について実態調査した結果を9項目の提言としてまとめている。このうち、今後の維持管理補修に関する項目につき要約すると、以下のとおりとなる。

- (1) 歩行者等いわゆる第三者に対する被害を防止し、耐久性を確保・向上するためには、設計・施工・維持管理において十分な対応をすべきであり、今後、基準類やマニュアルの整備を推進する。
- (2) 構造物の重要度に応じて設定した耐用年数の下で、要求性能を満足するよう材料選定、配合、設計、施工方法、維持管理を計画することを基本とすべきである。
- (3) 要求された品質水準を確実に満足するための品質管理システム、非破壊検査法を活用した検査システム、安全性を確保する点検システムを構築することが重要である。
- (4) 維持管理のためには、建設、点検、補修・補強に関する記録を適切に保存することが重要であり、構造物ごとの台帳をデータベース化することが望ましい。
- (5) 基準類の性能規定化、水分量試験方法、非破壊検査技術、補修・補強技術等について、新しい技術の研究・開発に取組み、実用化を図ることが望まれる。

V. レジンコンクリートによる補修・補強

1. 補修と補強の考え方

コンクリート構造物の劣化機構と補修工として、片脇²⁾は、表-2のように整理している。具体的な補修工法には、劣化コンクリートをいかに除去するか、除去した後の修復材として何を使うか、によってさまざまな工法が実用化されている。

また、当初設計では予定していなかった荷重が構造物にかかることになった場合等、補修対策に加えて補強対策が選択されることもある。具体的な補強工法としては、鋼板接着工法やコンクリート増打ち工法、ポストテンションをかける外ケーブル工法等がある。

2. 水路の内張り補強

補修することで当初機能が回復できない構造物や、当初設計と異なった条件が求められる構造物については、改修されることが通常であった。また、耐用年数を過ぎたコンクリート製の農業用排水路の更新にあたっては、従来は老朽箇所を含む一定区間の全線を掘削・撤去し、新たにコンクリートを打設する工事が行われてきた。

しかしながら、掘削を行えば、用排水の水換え、工事用地の確保、廃棄物の処理等で工事期間・費用も大きな

表-2 劣化機構と補修工²⁾

劣化機構	補修方針	補修工の構成	補修水準をみとすために考慮すべき要因
塩害	<ul style="list-style-type: none"> ・侵入したCl⁻の除去 ・劣化したコンクリートの除去 ・補修後のCl⁻, 水分, 酸素の侵入抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ・断面修復工 ・表面保護工 	<ul style="list-style-type: none"> ・Cl⁻侵入部除去の程度 ・鉄筋の防錆処理 ・断面修復材の材質 ・表面保護工の材質と厚さ
	<ul style="list-style-type: none"> ・脱塩 ・補修後のCl⁻, 水分, 酸素の侵入抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ・脱塩工 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋の電位制御 	<ul style="list-style-type: none"> ・電気防食 	<ul style="list-style-type: none"> ・陽極材の品質 ・分極量
アルカリ骨材反応	<ul style="list-style-type: none"> ・水分の供給抑制 ・内部水分の散逸促進 ・アルカリ供給抑制 ・劣化したコンクリートの除去, アルカリ除去 	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ注入工 ・表面保護工 	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ注入材の材質と施工法 ・表面保護工の材質と厚さ
凍害	<ul style="list-style-type: none"> ・劣化したコンクリートの除去 ・コンクリートの凍結融解抵抗性の向上 ・補修後の水分侵入抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ・断面修復工 ・ひび割れ注入工 ・表面保護工 	<ul style="list-style-type: none"> ・断面修復材の凍結融解抵抗性 ・ひび割れ注入材の材質と施工法 ・表面保護工の材質と厚さ
	<ul style="list-style-type: none"> ・中性化したコンクリートの除去 ・アルカリ付与 ・補修後のCO₂, 水分の侵入抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ・断面修復工 ・表面保護工 ・アルカリ付与 	<ul style="list-style-type: none"> ・中性化部除去の程度 ・鉄筋の防錆処理 ・表面保護工の材質と厚さ
化学腐食	<ul style="list-style-type: none"> ・劣化したコンクリートの除去 ・有害化学物質の侵入抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ・断面修復工 ・表面保護工 	<ul style="list-style-type: none"> ・表面保護工の材質と厚さ ・劣化コンクリート除去の程度

ものになる。さらに、水路が住宅地に近接している場合には、工事の騒音や交通の迂回等で問題が生じるおそれがある。したがって、更新する既設用排水路を破壊することなく、水路内面に補強材のうち平滑度の高い材料で新たな水路構造を形成することで、上記問題を解決するため、当研究室では補修工法の一つとして位置づけられているレジンコンクリート（以下、「レジンコン」という）を補強工法として実用化するための研究（図-7）を行っている。

現場で行った施工性試験（図-8）は、以下の手順で実施した。①開水路表面のウォータージェットによる清掃、②乾燥・プライマー処理（表面水の除去）、③型枠を水

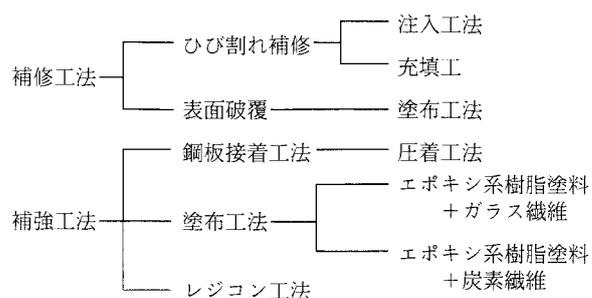


図-7 ひび割れ補修・補強工法の分類

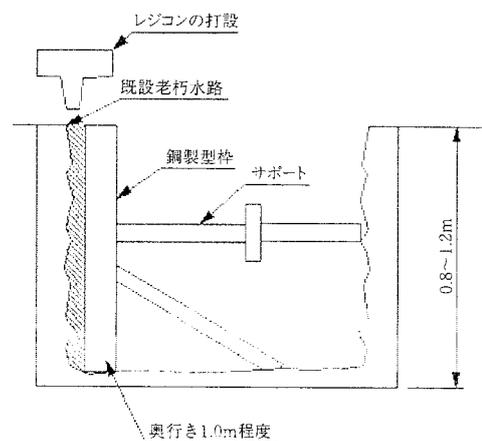


図-8 施工性試験概念図

表-3 レジンコンクリート製ボードの仕様

【製品】	形状	1000 mm×2000 mm×10 mm
	重量	48 kg (参考重量)
	成分	不飽和ポリエステル樹脂・珪砂
【粗度係数】		n=0.012 (参考値)
【強度】	圧縮強度	8.0 gcMPa~10.0 gcMPa
	引張強度	0.6 gcMPa~ 1.1 gcMPa
	曲げ強度	1.2 gcMPa~ 3.0 gcMPa
	弾性係数	1.5 gcMPa~ 3.0 gcMPa

路内に設置、④レジンコンの打設、⑤硬化、⑥脱型。

その結果、8 mm 厚のボードを型枠兼用とした水路底面補強はほぼ満足な結果が得られたが、水路側壁面に実施した15 mm 厚のレジンコン補強は、①打設幅が狭すぎて施工性に問題があること、②型枠とレジンコンとの間の空気抜きが困難なこと、③レジンコン投入時に材料の分離が起きやすいこと等、施工方法に改善の余地があることがわかった。現在、これらの結果を踏まえ、厚さ10 mm のレジンコンボード（表-3）を使った低コスト施工法を開発中である。

VI. おわりに

レジンコン工法は、環境に配慮した新工法であるが、今

後工事費抑制の Leading Method となり得るのか現段階では確信は持てない。しかしながら、今後予想される更新期のコンクリート構造物の増加を思うと、研究開発の歩みは速めなければならない。

なお、本報の II. および III. は、引用文献 3) の一部を書き改めたものであることをお断りする。また、V. の内容は、農業工学研究所と水路再生レジンコンクリート工法研究開発組合との間の交流共同研究に基づいており、資料を提供していただいた関係者の皆様に紙面を借りて御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 岸谷孝一・西澤紀昭ほか編：中性化，技報堂出版，pp. 36~37 (1986)
- 2) 片麻清士：最新のコンクリート防食と補修技術，山海堂，p. 165 (1999)
- 3) 長束 勇・藤本直也・菅原教泰・重森 篤：農業用施設コンクリート構造物の劣化についての現状分析，水と土 (120)，pp. 22~30 (2000)
- 4) 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，pp. 1~2 (2000)
- 5) 笹 繁生・鶴田 修・工藤正憲：香川用水の水路構造物の補修方法，水資源開発公団論文集，pp. 224~226 (2000)

- 6) ミサワホーバス株式会社技術開発部：水路再生レジンコンクリート工法，官民連繫新技術開発事業パンフレット (2001)

[2001. 2. 15. 受稿]

藤本 直也



略 歴
 1978年 東京大学農学部卒業，農林省入省
 1989年 在中国日本国大使館一等書記官
 1992年 国土庁地方振興局農村整備課課長補佐
 1995年 世界銀行本部
 1997年 農用地整備公団海外事業部企画課長
 1999年 農工研造構部施設研究室長
 (2001. 4. 1. 農工研農地整備部用水管理研究室長)
 現在に至る

長束 勇



略 歴
 1974年 京都大学農学部卒業，農林省入省
 1980年 筑波大学大学院経営・政策科学研究科修士
 1986年 構政局設計課農業土木専門官，設計審査班長
 1989年 農工研土木材料研究室長，土地質研究室長，施設機能研究室長
 1998年 京都大学博士(農学)
 現在に至る

お知らせ

2001年国際 O-CHA 学術会議

主 催：2001年国際 O-CHA 学術会議組織委員会
 共 催：財団法人 国際科学振興財団
 日 時：平成 13 年 10 月 5 日(金)~8 日(月)
 場 所：静岡県コンベンション・アーツセンター(グランシップ)静岡市池田 79-4
 内 容：
 1 テーマ
 Exploring new possibilities for O-CHA (tea) in the 21st century
 2 分 野
 歴史・文化 茶の文化，歴史，民族学など
 生 産 育種，栽培，製造，土壤肥料，防除，化学など
 効 能 医学，薬学，食品栄養学，生化学など
 流通・消費 茶の生産状況，新製品開発，多目的利用，マー

ケティングなど

- 3 登録料
 2001年5月31日まで 30,000円(学生15,000円)
 2001年6月1日以降 35,000円(学生18,000円)
 学生の方は，在学証明書を申込書と同時に提出下さい。
 その他詳しくは，ホームページを御覧下さい。また，セカンドサーキュラーを御希望の方は，メールで住所，氏名，所属を御連絡下さい。郵送いたします。

問い合わせ先：
 静岡県農林水産部お茶振興室内 2001年国際 O-CHA 学術会議事務局
 〒420-8601 静岡市追手町 9-6
 ☎：054-221-2673 FAX：054-221-2299
 E-mail：icos@hq.pref.shizuoka.jp
 URL http://www.o-cha.net