

農業工学研究所技報

第202号

目 次

チリ共和国内陸乾燥地における水文調査と灌漑施設整備 - 住民参加による水利施設整備の負担事例 - 太田弘毅 1	1
流域圏環境管理に関わるNPOの実態と発展条件 - NPOへのアンケート結果から - 福与徳文・八木洋憲・筒井義富・三橋伸夫・鎌田元弘 19	19
農村公園への訪問頻度と評価の関係に関する分析 農村アメニティに対するCVMの適用 國光洋二 35	35
都市農村交流施設の経済評価と訪問者の個人・世帯特性 選択実験型仮想訪問行動の適用 合崎英男 45	45
GISで用いるポリゴンデータのトポロジー修正システム 飯嶋孝史・石田憲治・松森堅治・嶺田拓也 61	61
農業集落排水汚泥の天日乾燥技術 中村真人・柚山義人 71	71
水田農業地帯の水資源が持つ生態環境維持機能の評価法 増本隆夫・久保田富次郎・松田 周・高木 東 81	81
排水トンネル施工による地すべり地の地下水の挙動 地山の含水比と地下水中のラドン濃度を指標として 石田 聡・原 郁男・土原健雄・今泉眞之 91	91
垂直に立てた管水路内の流れ解析 田中良和・向井章恵・樽屋啓之 101	101
鋼管における屈折損失係数の試験的研究 田中良和・島 武男・中 達雄・向井章恵・樽屋啓之 113	113
メコン河カンボジア氾濫域の水文観測と水収支 藤井秀人 127	127
砕・転圧盛土工法の設計・施工法について 谷 茂・福島伸二・北島 明・酒巻克之 141	141
コンクリート構造物の補修技術の現状と農業水利分野に適用する際の留意点 長束 勇・石神暁郎・石村英明・渡嘉敷 勝・森 充広 183	183
地すべり危険度区分における空中電磁法の適用性 中里裕臣・黒田清一郎・奥山武彦・伊藤吾一・佐々木 裕 197	197
透過電磁波プロファイリングによる地盤導電率分布の推定精度 - 電磁界数値シミュレーションに基づく基礎的検討 - 黒田清一郎・中里裕臣・奥山武彦 205	205

平成16年 3 月



独立行政法人農業工学研究所

農業工学研究所技報 第202号

理 事 長	佐 藤 寛
理 事	安養寺 久 男
企画調整部長	宮 本 幸 一
総務部長	小 松 勝
農村計画部長	工 藤 清 光
農村環境部長	齋 藤 元 也
地域資源部長	大 西 亮 一
農地整備部長	執 行 盛 之
水工部長	端 憲 二
造構部長	竹 内 睦 雄

編集委員会

編集委員長

委 員

宮 本 幸 一
國 光 洋 二
上 村 健一郎
<small>(平成15年4月~7月)</small>
長 利 洋
<small>(平成15年8月~)</small>
増 本 隆 夫
山 岡 賢
桐 博 英
谷 茂
佐 藤 忠 一

TECHNICAL REPORT OF THE NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING

No. 202

SATO Hiroshi	President
ANYOJI Hisao	Executive Director
MIYAMOTO Koichi	Director, Department of Program Management and Coordination
KOMATSU Masaru	Director, Department of General Affairs
KUDOU Kiyomitsu	Director, Department of Rural Planning
SAITO Genya	Director, Department of Rural Environment
OHNISHI Ryouichi	Director, Department of Regional Resources
SHIGYO Moriyuki	Director, Department of Agricultural Environment Engineering
HATA Kenji	Director, Department of Hydraulic Engineering
TAKEUCHI Mutsuo	Director, Department of Geotechnical Engineering

EDITORIAL BOARD

Chairman : MIYAMOTO Koichi
Editor : KUNIMITSU Yoji
KAMIMURA Kenichiro(2003, April ~ July)
OSARI Hiroshi(2003, August ~)
MASUMOTO Takao
YAMAOKA Masaru
KIRI Hirohide
TANI Shigeru
SATO Chyuichi

コンクリート構造物の補修技術の現状と 農業水利分野に適用する際の留意点

長束 勇*・石神暁郎**・石村英明*・渡嘉敷 勝*・森 充広*

目 次			
緒 言	183	結 言	195
コンクリート構造物の補修技術の現状	184	参考文献	196
1 道路施設など他分野の現状	184	Summary	196
2 各補修技術の特徴	188		
農業水利分野に適用する際の留意点	192		
1 農業水利分野の要求性能と特有の条件	192		
2 他分野の補修技術を適用する際の留意点	193		

緒 言

国営土地改良事業などにより造成された基幹的な農業水利施設は、ダム、頭首工、調整池、用排水機場などが約6,700箇所、農業用水路が総延長約4万kmに及んでいる(勝山, 2002)。こうした基幹的な農業水利施設は、国民への安定的な食糧供給基盤である社会資本ストックを形成しており、その機能の適切な維持と次世代への継承が重要である。

しかしながら、現下の厳しい社会経済状況や循環型社会への移行が喫緊の課題となる中においては、高度成長期以降に集中して整備された施設の多くが短期間に更新時期を迎える事態に対し、従来の手法である改修・改築により対処することは困難である。そこで、施設の長寿命化を図り、既存ストックの有効活用を実現するための補修技術の確立が不可欠である。

農業水利施設は、フィルダムなどを除くとその多くはコンクリート構造物である。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、周知のとおり、広く住宅・社会資本を形成する主要な構成要素となっている。本来、コンクリートは適切に材料を選定して配合設計を行い、入念な施工・養生を行えば、高耐久性を有するものである。そのようなコンクリートを用いて建設されたコ

ンクリート構造物も、やはり高耐久性を期待できる。しかし、どれほど耐久性の高いコンクリート構造物であっても、他の農業水利施設と同様に徐々に劣化は進行し、更新時期の到来を免れるものではない。

特に、設計当時にはその認識や対応する技術が十分ではなかった劣化メカニズム(例えば、塩害やアルカリ骨材反応(ASR)といった劣化機構)や不測の地山応力状態の変化によるトンネルの変形作用が素因となる場合もある。さらに、工期やコストの制約から必ずしも適切な施工がなされなかった場合も皆無とは言えない。このような場合、要求されていた性能のコンクリート構造物とはならず、最もしわ寄せを受け易いのが耐久性であることが次第に明らかになってきている(日本コンクリート工学協会, 2003a)。

一方、農業水利施設以外の分野に目を向けると、例えば道路施設の橋梁では、その補修の実績は30年に及ぶものも存在し(若菜ら, 1997)、近年においてその発達は著しい。元来、橋梁は、改修・改築して更新することが困難であることに加え、耐震対策や第三者被害防止対策の推進などにより、様々な補修技術の開発が進められている。そこで、適切な予防保全対策、維持管理対策の実施によって施設の長寿命化を図り、将来の更新量の平準化を図ることに資するためには、道路施設などの他分野において、現在、実用の域にある補修技術を農業水利分野へ活用していくことが有効であると考えられる。しかし、他分野の補修技術は、農業水利分野のコンクリート構造物に要求される水利的機能の確保、水理的機能および構造的機能の回復・向上といった目的に対し、性能が照査されておらず、また、農業水利分野に特有の条件に対する検証もなされていないのが現状である。

本報では、道路施設などの他分野のコンクリート構造物

* 造構部施設機能研究室

** 造構部施設機能研究室講習生(ショーボンド建設株式会社)

平成16年1月5日受理

キーワード：農業水利施設、コンクリート構造物、補修技術、要求性能

の補修技術の現状を整理し、農業水利分野のコンクリート構造物に要求される性能および補修技術に要求する性能を他分野と対比しつつ、農業水利分野に適用する際の留意点について考察した。なお、本報では、耐久性の回復・向上と第三者影響度の改善に加え、機能性の回復・向上を目的とした対策を「補修」とした。また、力学的な性能の回復・向上を目的として実施する対策を「補強」とした。ただし、「補強」の中でも「補修」の効果の高いものを「補修」と併せて「補修技術」と称することにした。

コンクリート構造物の補修技術の現状

1 道路施設など他分野の現状

一般に、コンクリート構造物が用いられる分野としては、農業水利施設以外に、道路施設、鉄道施設、港湾施設、下水道施設などが挙げられる。なお、道路施設や鉄道施設において代表されるコンクリート構造物は、橋梁やトンネルである。

コンクリート構造物の補修技術は、基本的に変状の原因・程度と要求性能により選定されるため、分野の相違は技術の相違に結びつくとは一概にはいえない。しかし、それぞれ構造物の置かれた環境が異なるため、分野毎の特徴を有している。以降に述べる各構造物の置かれた一般的な環境に関する理解の便に供するため、Fig.1に道路施設（橋梁およびトンネル）、Fig.2に港湾施設、Fig.3に下水道施設の例を示す。

以下、他分野のコンクリート構造物を構成している部材の種類、発生する主な変状の特徴とその原因、構造物の要求性能と変状により受ける影響、補修技術の種類と補修技術に要求する性能、各分野に特有の条件、ならびに各分野の補修技術の最近の動向について述べる。

a 構造物を構成するコンクリート部材の種類

道路施設や鉄道施設の橋梁を構成する部材には、床版（スラブ）、桁（梁）、橋脚（柱）、橋台、地覆、高欄などが挙げられる。それら部材は、その構造によりRC（鉄筋コンクリート）およびPC（プレストレストコンクリート）に分類されるが、一部の部材を除き、その多くはRCである。一方、トンネルの覆工コンクリートは、坑口付近を除き、無筋コンクリートである場合が多い。

また、港湾施設では、栈橋の床版、梁（桁）、橋脚、ケーソンなどが、下水道施設では、管路施設、ポンプ場、処理場などの構造部材が挙げられ、いずれの場合も、その多くはRCである。

b 構造物に発生する主な変状の特徴と原因

コンクリート標準示方書〔維持管理編〕（土木学会、2001）によれば、コンクリート構造物の「変状」は、「初期欠陥」、「損傷」、「劣化」に分類され、「施工時に発生するひび割れや豆板、コールドジョイント、砂すじなど」を



Fig.1 道路施設の例（橋梁およびトンネル）
Concrete structure of road (bridge and tunnel)



Fig.2 港湾施設の例
Concrete structure of port facility



Fig.3 下水道施設の例
Concrete structure of sewerage facility

「初期欠陥」、「地震や衝突などによるひび割れやはく離など、短時間のうちに発生し、その変状が時間の経過によっても進行しないもの」を「損傷」、「時間の経過に伴って進行するもの」を「劣化」と定義している。

道路施設や鉄道施設の橋梁の補修技術では、主に劣化を対象としている。劣化は、鉄筋腐食に関係する劣化とコンクリート自体の劣化に大別される。橋梁は、部材の種類に関係なく基本的にコンクリート内部に鋼材を含むため、中性化、塩害といった鉄筋腐食に関係する劣化の発生確率が経年とともに高くなる傾向がある。Fig.4は、中性化を受

けた橋梁の例である。また、凍害、ASR、化学的腐食といったコンクリート自体の劣化は、コンクリート中の劣化要因の有無や劣化外力の供給されやすさなど、橋梁の置かれた環境によりその発生の傾向は異なる。一方、床版（スラブ）および桁（梁）の疲労は、橋梁に特有の劣化の一つである。疲労により発生したひび割れから水、酸素、塩分などの劣化因子が侵入すれば、劣化速度は著しく加速される。こうした中性化、塩害、凍害、ASR、化学的腐食、疲労といった劣化により低下した部材に対する要求性能の回復・向上を、劣化部除去、ひび割れ補修、断面修復、補強、表面被覆、はく落防止などの補修技術により図っている。

トンネルの補修技術は、主に劣化を対象とする橋梁などのRC構造物の場合とは異なり、トンネル全体の変形を抑制する対策と、コンクリート自体の変状を対象とした対策に大別される。トンネル全体の変形は地圧などの外的要因により生じるものであるが、本来は、地圧に対してトンネルのアーチ構造が作用するように設計されているものである。しかし、実際には、何らかの要因により変形を生じているトンネルは少なくない。トンネル全体の変形は、トンネル側面部の覆工コンクリートに生じる曲げひび割れや、アーチ部に生じる「圧ざ」（曲げ圧縮損傷、曲げ圧縮破壊により、はく離などの変状が確認される状態）、あるいは押抜きせん断破壊といった現象によりその発生を知ることになる。この変形に対する抵抗力を回復させ、アーチ構造を適切に作用させなければ、変形および変形に起因する変状の進行を防ぐことは難しい。一方、コンクリート自体の変状には、収縮ひび割れ、コールドジョイント、ジャンカ（豆板）などの初期欠陥や、凍害、ASR、化学的腐食などの劣化が挙げられる。初期欠陥は、それが劣化を誘発、促進させるものでなければ問題となることは少ない。しかし、トンネルの場合はこうした初期欠陥の箇所から湧水を生じる場合が多く、はく離・はく落、断面欠損といった変状につながることもある。また、湧水が冬期に凍結し、つらら状になった氷が落下するなど、湧水自体が第三者に影響を与えることもある。なお、坑口付近や一部の覆工ではRCが適用されることがあり、その場合には、橋梁などのRC構造物と同様の対策が採られる。

港湾施設の補修技術では、主に構造物の塩害による劣化を対象としている。Fig.5に塩害を受けた港湾施設の例を示す。栈橋などの港湾構造物では、直接、海水の作用を受けたり、風波によって海塩の粒子がコンクリート表面に付着することによって、コンクリート中に多量の塩化物イオンが供給される。その結果、建設して十数年経過したコンクリート中の塩化物イオン量が、 $10\text{kg}/\text{m}^3$ を超える場合もある（日経コンストラクション、2002）。しかし、港湾施設の全てのRC構造物が、塩害により短期に劣化するわけではない。塩害は、鉄筋腐食に深く関係する劣化であり、

鉄筋腐食を生じるための諸条件が全て満たされて構造物の劣化に至る。したがって、鉄筋腐食の条件である酸素が供給されない海中などでは、全く塩害を生じていないというケースも少なくない。以上のように、構造物が塩害環境に位置する場合でも、変状の程度や補修によりもたらされる効果とそのメカニズムを把握することが重要である。塩害の初期の段階では、劣化因子の侵入防止を目的とした対策が有効である。一方、既に多量の塩分が侵入し、酸素も供給されやすい条件であれば、劣化速度の抑制、劣化因子の除去、補強といった対策が必要になる。

下水道施設の補修技術では、主に構造物の化学的腐食による劣化を対象としている。Fig.6に化学的腐食を受けた



Fig.4 中性化を受けた橋梁の例
Neutralization of bridge



Fig.5 塩害を受けた港湾施設の例
Salt damage of pier



Fig.6 化学的腐食を受けた下水道施設の例
Chemical corrosion of sewerage

下水道施設の例を示す。ポンプ場や処理場などの施設では、細菌類により生成された硫酸がコンクリート表面に付着し、コンクリート自体を劣化、侵食させる。気相部のコンクリートでその傾向は著しく、液相部のコンクリートにおいても、有機酸や炭酸ガスの影響により、劣化、侵食を受けることがある。管路施設では、気相部が移動するため硫酸が生成し難く、劣化は比較的軽微であるとされてきたが、最近では、管路施設の劣化も少なくないことが分かってきた(日経コンストラクション, 2002)。化学的腐食は、コンクリートを著しく劣化させ、鉄筋などの鋼材も腐食させることから、劣化の初期の段階では劣化因子の侵入防止を目的とした対策が有効である。コンクリートの脆弱化が進行している場合は、劣化因子の除去、補強といった対策が必要となる。

c 構造物の要求性能と変状により受ける影響

コンクリート標準示方書 [維持管理編] (土木学会, 2001) によれば、コンクリート構造物の「要求性能」は、「安全性能」、「使用性能」、「第三者影響度に関する性能」、「美観・景観」、「耐久性能」に分類される。

道路施設や鉄道施設の橋梁では、安全性能、第三者影響度に関する性能、耐久性能を重視する場合が多い。安全性能の回復・向上では主に補強が、第三者影響度に関する性能および耐久性能の回復・向上では主に補修が行われる。例えば、中性化や塩害といった劣化により鉄筋の断面欠損に至った場合、耐荷性能あるいは耐震性能といった安全性能が低下する。これに対し、鉄筋の追加や鋼板の取付けといった補強が行われ、低下した性能の回復・向上が図られる。また、劣化によりコンクリート片のはく離・はく落の恐れがある場合は、第三者影響度に関する性能が低下する。これに対し、はく落防止対策などの補修が行われ、低下し

た性能の回復・向上が図られる。

トンネルでは、坑内を第三者が通行するかどうかで要求性能は異なる。道路トンネルや鉄道トンネルなどでは、第三者影響度に関する性能は重要である。一方、水路トンネルでは、コンクリート片のはく落による第三者被害の発生などは考え難いため、使用性能、すなわち機能性の低下が問題となる。また、いずれの場合においても、安全性能や耐久性能は重要であり、補修技術により、こうした要求性能を回復・向上させている。

d 補修技術の種類と補修技術に要求する性能

Fig.7に、主な補修技術の種類を示す。一般に、コンクリート構造物の補修技術では、変状の原因・程度と、変状が構造物の要求性能に与える影響を把握し、補修技術に要求する性能を決定する。

道路施設や鉄道施設の橋梁の補修技術では、劣化により低下した耐久性の回復・向上、第三者影響度の改善を目的とした対策を講じる必要がある。例えば、鉄筋腐食に関係する劣化の対策では、鉄筋腐食 ひび割れ はく離・はく落 コンクリートや鉄筋の断面欠損 耐荷力低下といった劣化の進行に対し、劣化部除去 ひび割れ補修・断面修復(鉄筋防錆を含む) 必要に応じた補強対策 表面被覆対策(劣化因子の侵入防止)・はく落防止対策という一連の補修技術で、耐久性の回復・向上、第三者影響度の改善を行っている。一方、劣化が鉄筋腐食に関係しない場合や無筋コンクリートの場合には、補修技術はコンクリート自体の劣化を対象としたものとなる。また、劣化以外の変状(初期欠陥、損傷)の場合には、それが劣化を誘発、促進させるものであるか否かが、補修の要否の判定根拠になる。

トンネルの中で、道路トンネルや鉄道トンネルなどの補修技術では、トンネル全体の变形やコンクリート自体の変

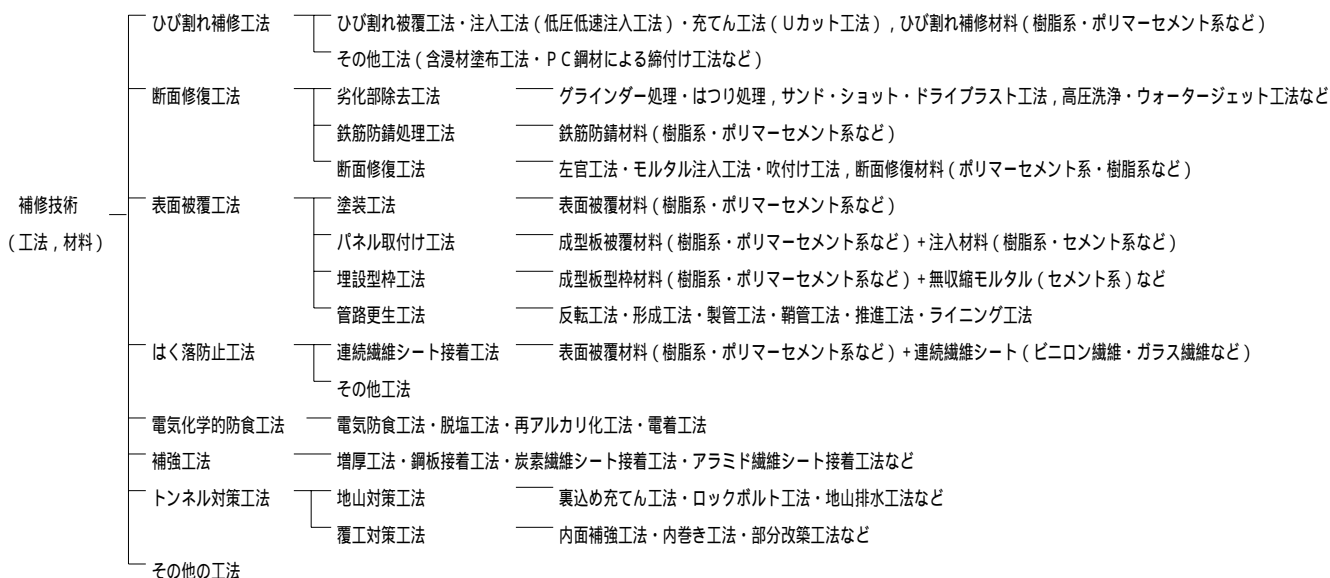


Fig.7 主な補修技術(工法・材料)の種類
Repair technique (method, material)

状により低下した耐久性の回復・向上，第三者影響度の改善を目的とした対策が講じられる。例えば，トンネル全体の変形に係る変状の対策では，トンネル全体の変形曲げひび割れ・圧ざ・押抜きせん断破壊 はく離・はく落 断面欠損 耐荷力低下といった変状の進行に対し，地山対策（裏込め充てん，ロックボルト，地山排水など） 覆工対策（脆弱部除去，ひび割れ補修，断面修復，はく落防止対策，内面補強対策，内巻き対策，部分改築対策など）という補強を含む一連の補修技術によって，耐久性の回復・向上，第三者影響度の改善が行われている。また，前述のように，トンネルの場合は初期欠陥などの箇所から生じる湧水自体が第三者に影響を与えることもあるため，湧水防止を目的とした工法が採用されることも少なくない。

一方，水路トンネルの補修技術では，低下した耐久性および機能性の回復・向上を目的とした対策が講じられる。トンネル全体の変形に係る変状の対策は，道路トンネルや鉄道トンネルと同様であるが，第三者影響度の改善よりも機能性の回復・向上が重視される。具体的には，被覆する材料・工法に表面を平滑に保つ性能が要求され，粗度係数の改善などが図られる。なお，コンクリート自体の変状やRCの劣化などの対策は，基本的に道路施設や鉄道施設の橋梁と同様である。

トンネルに発生する変状の形態には，ひび割れ，はく離・はく落，断面欠損などがある。これらが，トンネル全体の変形により発生したものか，コンクリート自体の変状によるものか，その変状の発生原因とメカニズムを的確に把握し，その原因を抑制あるいは除去することを目的とした補修技術が適用されなければならない。地圧などの外力が作用し，トンネル全体が変形することにより生じた側面部に特徴的に発生する曲げひび割れに対し，劣化因子の侵入防止を目的とするひび割れ補修を行っても，抜本的な対策とは言い難い。

港湾施設の補修技術では，主に塩害により低下した耐久性の回復・向上を目的とした対策が講じられる。一般に，鉄筋腐食 ひび割れ はく離・はく落 コンクリートや鉄筋の断面欠損 耐荷力低下といった劣化の進行に対し，劣化部除去 ひび割れ補修・断面修復（鉄筋防錆を含む）必要に応じた補強対策 表面被覆対策（劣化因子の侵入防止）・電気化学的防食対策という補修技術により耐久性を回復・向上させている。

下水道施設の補修技術では，主に化学的腐食により低下した耐久性および機能性の回復・向上を目的とした対策が講じられる。一般に，コンクリートの劣化（鉄筋腐食 ひび割れ はく離・はく落） コンクリートや鉄筋の断面欠損 耐荷力低下といった劣化の進行に対し，劣化部除去（ひび割れ補修） 断面修復（鉄筋防錆を含む） 必要に応じた補強対策 表面被覆対策（劣化因子の侵入防止）という補修技術により耐久性および機能性を回復・向上さ

せている。

e 他分野に特有の施工・環境条件

一般に，補修技術の施工にあたっては，構造物（施設）の機能を確保する，供用下の施工に対応する，夏季および冬季の気温変化に対応する，特定の劣化外力に抵抗する，水に対する種々の抵抗性を有する，といった施工条件や環境条件における制約を受ける。以下に，他分野に特有の条件を示す。補修技術では，種々の材料・工法を組み合わせることで，補修技術に要求する性能やこれらの条件を満足させている。

構造物（施設）の機能を確保する：道路施設や鉄道施設の橋梁やトンネルなどでは，補修後の過剰な断面増加を避け，車輛などの円滑な通行性を保たなければならないことから，その制約は厳しい。また，水路トンネルや下水道施設などでも，補修後の通水能力や処理能力を低下させてはならない。

供用下の施工に対応する：道路では交通規制下，鉄道では起電停止時間内の施工となるため，橋梁の上面側やトンネルなどでは，材料の速乾性，早期強度発現性が要求される。一方，下面側では，材料の硬化過程で振動の影響を受けないなどの性能がさらに加わる。また，作業空間が制限されるなど，材料の形状や寸法に制約を受けることがあるので，対応が可能な材料・工法を選定しなければならない。さらに，その作業工程も最小限に抑える必要がある。

水路トンネルや下水道施設においても，通水遮断時間内の施工となるため，材料には速乾性や早期強度発現性が要求される。また，作業空間の制限に対応ができる材料・工法を選定しなければならず，特に管路施設では，人力施工が不可能である場合もあり，その場合，管路施設専用の工法を検討する必要がある。

港湾施設では，棧橋下面側の施工は基本的に海上での作業となり，施工場所が海面に近いことを考慮しなければならない。干満の影響を受けて作業効率が陸上よりも大幅に低下するため，材料の速乾性，早期強度発現性が要求される場合が多い。

夏季および冬季の気温変化に対応する：農業水利施設のように施工が主に非灌漑期に限定されることはなく，暑中，寒中ともに対応が可能でなければならない。材料を夏用，冬用などに分ける対策も有効である。

特定の劣化外力に抵抗する：橋梁の地覆，高欄の内面側，道路トンネルなどでは，通行車輛の排気ガスなどの影響により中性化速度が大きいことが予想される。また，沿岸部に位置する構造物や冬期に融氷剤を散布する寒冷地に位置する橋梁などでは塩害の進行が懸念され，また，寒冷地では凍害の進行が懸念される。こうした劣化外力に抵抗する性能が要求される。港湾施設では，主として塩害に抵抗する性能が要求される。

その他にも、例えば飛沫帯付近では波浪自体による洗掘などの影響も受けるため、一般に、材料の厚みを大きくするなどして、より耐久性に優れる仕様とする必要がある。下水道施設では、主として化学的腐食に抵抗する性能が要求される。その他にも、例えば通水による摩耗などの影響を受けるため、一般に、材料の厚みを大きくする、比較的強度の高い材料で被覆するなどして、より耐久性に優れる仕様とする必要がある。

水に対する種々の抵抗性を有する：道路施設や鉄道施設の橋梁では、コンクリート内部への水の浸透は、鉄筋腐食、凍害、ASRといったコンクリート自体の劣化を発生、促進させるため、防水性に優れる材料を施す必要がある。また、河川の中に位置している橋脚などでは、他の部位に比べ水に接する時間が長くなり、水の影響による材料の性能低下が懸念されるため、材料には防水性および耐水性が要求される。一方、トンネルの覆工は無筋コンクリートの場合が多く、坑内の温度や湿度などの環境変化が穏やかであるため、風雨にさらされるRC構造物に比べ、トンネルの覆工材料が急速に劣化することは少ない。したがって、RC構造物の場合のような劣化防止を目的とした対策は必ずしも必要とはならない。しかし、湧水自体が問題となる場合は、遮水性に優れる材料・工法の採用が重要である。また、水路トンネルや下水道施設では、通水量の確保自体が要求性能となるため、漏水を防止する性能は必要不可欠となる。さらに、トンネル、下水道施設、港湾施設における施工では、施工中および施工後の湿潤環境（水中環境、乾湿繰返しを含む）は避け難いため、水の影響による性能低下（新旧材料間の接着性、強度発現性などの性能低下）を生じない材料・工法を適用しなければならない。したがって、水に対する種々の抵抗性（遮水性、漏水防止性、耐水性など）が要求される。特に港湾施設では、海水が直接接触する場合も多く、陸上で使われている材料・工法では十分な補修効果が得られない場合もあるので、材料・工法の選定には十分に留意しなければならない。

f 補修技術の最近の動向

道路施設や鉄道施設では、平成7年に発生した阪神淡路大震災を契機とした耐震対策や、平成11年に発生した山陽新幹線福岡トンネルでのコンクリート塊崩落事故を契機とした第三者被害対策（はく落防止対策）などが、特徴として挙げられる。

橋梁では従来より、例えば、安全性能の回復・向上では通行車輛の活荷重増加に伴う床版や桁の補強、耐久性の回復・向上ではひび割れ補修・かぶりコンクリートの断面修復・劣化防止対策の表面被覆といった補修が行われてきた。しかし、安全性能の回復・向上では耐震対策が中心となり、また、第三者影響度の改善は分離独立して扱われる

ことになった。耐震対策や第三者被害対策における技術の発達には、現在においても日進月歩である。

トンネルでは、コンクリートの崩落事故を契機に加速して進められるようになった第三者被害対策を中心とした施工が行われている。前述のように、第三者被害の発生する原因とそのメカニズムが橋梁の場合と異なるため、コンクリートのはく落防止対策以外にも、トンネル全体の变形を抑制する対策や湧水を防止する対策など様々な対策が採られており、コンクリート構造物の中でも補修技術の開発が最も盛んな分野の一つである。

港湾施設では、電気化学的防食工法の発達が特徴として挙げられる。従来は、塩害を受けた栈橋を補修する場合、表面被覆工法や断面修復工法が多く採用されてきた。しかし、既に浸透した塩化物イオンが拡散して鋼材位置で腐食発生限界値を超える場合には、表面被覆工法による十分な補修効果は期待できない。そのため、劣化因子の除去を目的とした断面修復工法や脱塩工法、劣化速度の抑制を目的とした電気防食工法など、抜本的な対策を選定しなければならない。栈橋における塩害では、鉄筋などの鋼材の断面欠損に至るケースも少なくなく、補強対策を併用する必要もある。最近では、電気化学的防食工法と補強工法の併用も可能になってきている（日経コンストラクション、2002）。

下水道施設では、シートライニング工法や管路更生工法の発達が特徴として挙げられる。シートライニング工法は、コンクリートと防食シートが一体化することによりコンクリートを被覆する工法であり、コンクリート打設前に型枠に貼り付ける方法、埋設型枠として使用する方法、コンクリート打設後に貼り付ける方法などがある（日本下水道事業団、2002）。従来、防食では、塗装によるライニング工法が主流であったが、防食効果や品質の向上対策として、シートライニング工法の採用が多くなってきている。また、管路更生工法には、反転工法、形成工法、製管工法、鞘管工法、推進工法、ライニング工法があり、従来、開削・敷設により行ってきた管路の更生を非開削で施工できる工法が数多く実用化されている。管路の内径や形状、既設管の断面耐荷力などにより工法が選定される（日経コンストラクション、2002）。下水道施設における化学的腐食では、鉄筋などの鋼材の断面欠損に至るケースも多く、そうした場合は補強対策を併用する必要がある。最近では、補強対策を兼ねたライニング工法、管路更生工法も開発されている（佐野ら、2003）。

2 各補修技術の特徴

以下に、代表的な補修技術の特徴を示す。

a ひび割れ補修工法

ひび割れ補修工法は、防水性、耐久性を向上させる目的で行われる工法であり、その種類には、ひび割れ被覆工法、

注入工法，充てん工法，その他工法がある。これらの工法は，ひび割れの発生原因，ひび割れの進行性の有無，発生状況，ひび割れ幅の大小，ひび割れの変動の大小，鉄筋腐食の有無などによって，単独あるいは組み合わせて使い分ける。

以下に，各工法の概要と特徴，使用材料などを示す（日本コンクリート工学協会，2003b）。

(1)ひび割れ被覆工法

微細なひび割れ（一般に幅0.2mm以下）上に，表面被覆層を形成させ，防水性および耐久性を向上させる工法で，ひび割れ部分のみを被覆する方法と全面を塗布する方法がある。この工法は，ひび割れ内部の処置ができない，ひび割れに進行性や大きな変動がある場合には追従できない，などの短所がある。反面，変動の小さいひび割れで表面の防水性を目的とした場合では，施工も簡便で，経済性に優れるという長所を持つ。

使用材料は，補修目的や構造物の置かれた環境により異なり，一般には塗膜弾性防水材，ポリマーセメントペースト，セメントフィラーなどが用いられる。前述のように，ひび割れ追従性はあまり期待できないため，長期耐久性を期待する場合は他の工法の適用あるいは併用を検討する。

(2)注入工法

ひび割れに樹脂系あるいはセメント系の材料を注入してひび割れ内部を閉塞し，防水性および耐久性を向上させる工法で，施工方式により低圧低速注入方式や機械注入方式などがある。従来，注入工法は手動や足踏み式の機械注入方式が主流であった。しかし，注入の精度が作業員の熟練度に左右される，注入量の管理が難しい，注入圧が高いとひび割れ深部に樹脂が注入される前にひび割れに沿って樹脂が広がったり，シーリング材が割れることがある，などの問題があった。現在では，低圧低速注入方式による補修方法として，Fig.8に示す注入器具などを用いて注入圧力0.4MPa以下の低圧で，かつ低速で注入する工法が主流となっている。低圧低速注入方式は，注入精度が作業員の熟練度に左右されない，注入量の管理が容易である，

ひび割れ深部のひび割れ幅が0.05mmと狭い場合でも確実に注入できる，などの特長を持っている。

使用材料は，エポキシ樹脂やアクリル樹脂などの樹脂系，ポリマーセメント系，セメント系などがある。樹脂系注入材は，コンクリートとの接着性に優れている，躯体の一体化回復を図ることも可能である，性状が1,000mPa・s以下の低粘度の注入材，1～5mmと比較的幅の広いひび割れでも流下しないように揺変性を付与した注入材，伸び率50%以上の性能を有する注入材（可とう性樹脂）など種類が豊富である，エポキシ樹脂注入材の耐久性が実構造物の補修後追跡調査の結果から約30年が確認されている，などの特長がある。また，ポリマーセメント系およびセメント系の注入材は，樹脂系注入材に比べ安

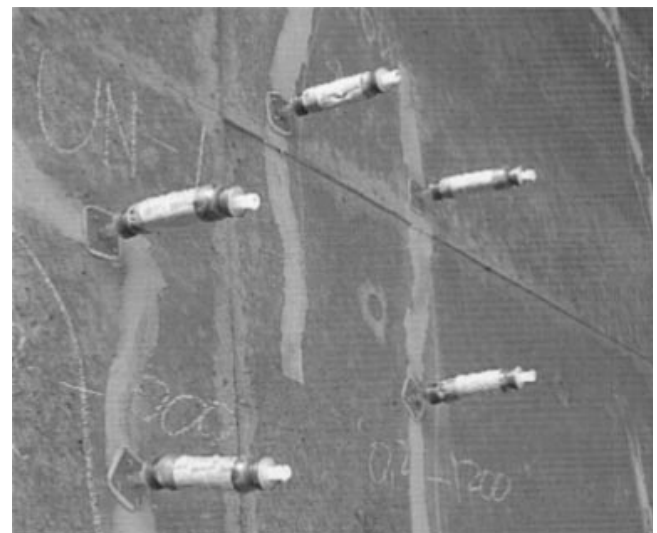
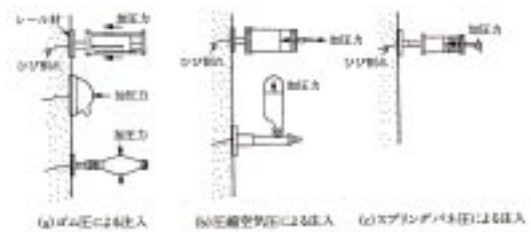


Fig.8 ひび割れ補修工法（注入工法）の例
Concrete crack repair method (injection method)

価である，線膨張係数がコンクリートに近い，鉄筋防錆効果を付与させることも可能である，などの特長がある。

(3)充てん工法

0.5mm以上の比較的幅の広いひび割れ，かつ，鉄筋腐食を生じていない場合の補修に適用する工法で，ひび割れに沿ってコンクリートをU字形またはV字形にカットし，その部分に補修材料を充てんする方法である。充てん材に柔軟性に富むシーリング材などを使用した場合は，ひび割れ追従性を有する工法となるため，防水性および耐久性を向上させることができる。一方，鉄筋腐食を生じている場合は，劣化因子の除去や防錆対策が必要となるため，充てん工法を用いることはできない。

使用材料は，シーリング材のほか，可とう性エポキシ樹脂，ポリマーセメントモルタルなどがある。

(4)その他工法

ひび割れに対するその他の補修工法としては，シリコン系やシラン系の浸透性吸水防止材による含浸材塗布工法や，PC鋼材，鋼板，炭素繊維などで締め付ける工法などがある。含浸材塗布工法では，近年，様々な材料・工法が開発されており，アルカリ性を付与する含浸材，亜硝酸塩などを使用した塗布型防錆材，撥水系浸透性吸水防止材，有機質浸透性固化材，無機質浸透性防水材，無機質セメント結晶増殖材，コンクリート改質剤（水和反応活性剤）など，多種多様な技術開発が進められている。

最近では，湿潤面においても良好な接着性を示すひび割

れ補修材料も数多く開発されている。こうした防水性向上の効果に優れるひび割れ補修工法を、耐久性の回復・向上対策に加え、漏水防止を目的とした機能性の回復・向上対策として活用していくことも、農業水利分野のコンクリート構造物の補修を行う上で、有効な一手段であると考えられる。

b 断面修復工法

断面修復工法は、コンクリート構造物が劣化により元の断面を喪失した場合や、中性化、塩化物イオンなどの劣化因子を含むコンクリートやその他の原因で脆弱化したコンクリートを除去した場合の断面修復を目的とした工法であり、劣化部除去、鉄筋防錆処理、断面修復により構成される。Fig.9に断面修復工法の例を示す。

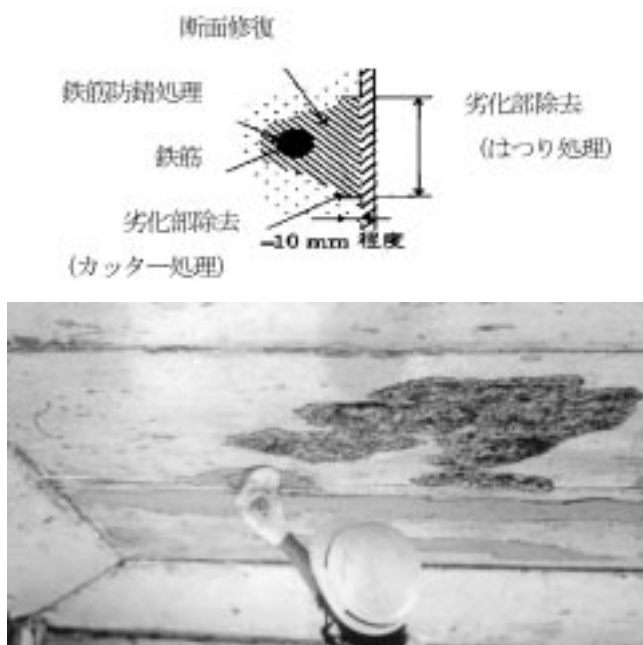


Fig.9 断面修復工法 (左官工法) の例

Concrete section restoration method (plasterer method)

以下に、各工程の概要と特徴、使用材料などを示す。

(1)劣化部除去

劣化部除去は、劣化因子を含むコンクリートやその他の原因で脆弱化したコンクリートを躯体から除去することを目的として行われる。補修材料の接着性確保のために行われる下地処理も、本工程に含まれる。方法は、その目的(要求する表面の状態)、劣化の原因・程度、劣化部の規模、構造物の置かれた状況、施工および環境条件などにより選定する。躯体表面付近のみのコンクリートが対象であれば、グラインダー処理、高圧洗浄処理などを適用する。除去すべきコンクリートが厚い場合は、はつり処理、劣化部の規模が大き場合はブラスト工法、ウォータージェット工法などを適用する。施工により得られる劣化部除去後の躯体表面の状態は、各方法により異なるため、要求する表面の状態を十分に検証した上で方法選定を行わなければならない

い。

(2)鉄筋防錆処理

鉄筋防錆処理は、鉄筋腐食を生じている場合に鉄筋の錆の除去・防錆処理を行うものである。錆の除去は劣化部除去時に併せて行い、新たな発錆が生じる前に鉄筋防錆材を塗布する。使用材料には、エポキシ樹脂やアクリル樹脂などの樹脂系、ポリマーセメント系、錆転換塗料などがある。

(3)断面修復

断面修復は一般に、断面修復材のコンクリートへの接着性を強固にするために、樹脂系またはポリマーセメント系のプライマーを塗布し、ポリマーセメントモルタルや軽量エポキシ樹脂モルタルなどの材料を充てんする手順で行う。方法には、補修規模や施工条件により、左官、モルタル注入、吹付け(乾式、湿式)がある(日本コンクリート工学協会, 2003b)。

左官: 比較的小規模な断面の修復に適用し、ポリマーセメントモルタルや軽量エポキシ樹脂モルタルなどを左官方式にて充てんする方法である。

モルタル注入: 比較的大規模な断面の修復に適用する方法で、補修断面に合わせた形状に型枠を組み、流動性に優れたポリマーセメントモルタルやセメントモルタルをポンプで圧送して充てんする方法である。鉛直面(側面)や下面などの施工箇所に適用される。

吹付け: 補修面積が比較的大面積の場合に適用する方法で、事前に混練した断面修復材を吹き付ける湿式工法と、粉体と水または混和液を別々に圧送して吹き付ける乾式工法があり、それぞれ専用の吹付け機を使用する。

断面修復材には、圧縮、曲げおよび引張強度などが躯体コンクリートと同等以上であること、線膨張係数、弾性係数、ポアソン比などが躯体コンクリートと同等であること、乾燥収縮や硬化収縮が小さく、躯体コンクリートとの接着性が高いこと、などの性能が要求される。

農業用水路などでは、摩耗などにより躯体断面の減少したコンクリートが多くみられる。こうした断面修復工法を、耐久性の回復・向上対策に加え、表面平滑性確保を目的とした機能性の回復・向上対策として活用していくことも有効であると考えられる。

c 表面被覆工法

表面被覆工法は、コンクリート構造物の表面を樹脂系やポリマーセメント系の材料で被覆することにより、劣化因子(水、炭酸ガス、酸素、塩分、硫酸、塩類など)の侵入を防止して、劣化進行を抑制し、主に構造物の耐久性を回復・向上させる工法である。その種類には、塗装工法(含浸塗布工法、フィルム貼付け工法を含む)、パネル取付け工法、埋設型枠工法、管路更生工法、防水工法などが挙げられ、対象となる変状の発生原因と程度、表面被覆材料の要求性能、補修規模、構造物の置かれた状況、施工および

環境条件，経済性などにより選定される。Fig.10に表面被覆工法の例を示す。

以下に，各工法の概要と特徴，使用材料などを示す。

(1) 塗装工法

塗装工法は，コンクリート表面を塗装材により被覆する工法である。土木構造物または建築構造物で幅広く用いられ，コーティングやライニングと称されることもある。一般に，コンクリート表面のレイトンス，汚れなどをグラインダー，高圧洗浄，ブラスト，ウォータージェットなどによって除去した後，下地処理材（プライマー）塗布，不陸調整材（パテ）処理，主材（中塗り材）塗布，仕上げ材（上塗り材）塗布などの複数の工程で実施する。なお，ひび割れ補修や断面修復は，表面被覆に先行して行う。また，刷毛塗り，ローラー刷毛塗り，吹付けなどの施工方式がある。

使用材料は，変状の原因・程度や表面被覆材料の要求性能などにより異なる。中性化，塩害，凍害，ASRなどを対象とした場合は，主材にエポキシ樹脂塗料，仕上げ材に耐候性のあるポリウレタン樹脂塗料を用いることが多い。化学的腐食を対象とした場合は，化学的腐食が発生する閉鎖環境では耐候性が問題とならないことから仕上げ材は用いず，主材にはエポキシ樹脂塗料のほか，ビニルエステル樹脂塗料やアクリル樹脂塗料を用いることがある。近年，耐酸性に優れる，速乾性を有する，1回の施工で厚膜が形成できるなどの特長を有するスプレーライニング工法が数多く開発されてきており（日経コンストラクション，2002），農業用水路の補修技術としても期待される。

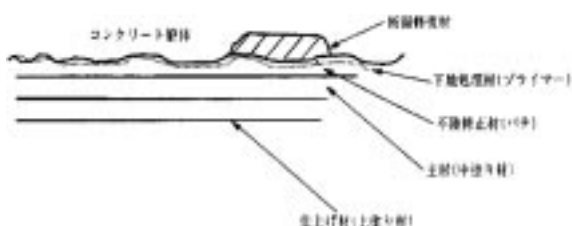


Fig.10 表面被覆工法（塗装工法）の例
Concrete surface protection method (painting method)

(2) パネル取付け工法

パネル取付け工法は，コンクリート表面をパネル状（シート状，ボード状と称することもある）の被覆材（成型板被覆材料）により被覆する工法である。主に下水道などの土木構造物で用いられ，近年，農業用水路の被覆材としても採用されている（長束ら，2002b）。一般に，コンクリート表面の下地処理を行った後，パネルの取付け位置を決定し，パネルの固定，ジョイント部および端部のシーリング処理，注入材充てん，養生・仕上げといった工程で実施する。

使用材料は，パネルには不飽和ポリエステル樹脂系レジンコンクリートパネル，ビニルエステル樹脂FRP複層板，不飽和ポリエステル樹脂FRP板などがあり，注入充てん材には樹脂系注入充てん材，セメント系注入充てん材などを用いる（日本下水道事業団，2002）。近年，耐久性（耐酸性）に優れる，品質の確保が容易である，粗度係数の改善効果が期待できるなどの特長を有するパネル取付け工法が開発されてきており（石村ら，2003），農業用水路の補修技術としても採用されつつある。

(3) 埋設型枠工法

埋設型枠工法は，コンクリート表面に耐久性（防食性）に優れた型枠を設置して，流動化コンクリートなどを型枠内に充てんする工法で，型枠がそのまま被覆材（成型板型枠材料）として機能する工法である。主に下水道，港湾施設などの土木構造物で用いられている。一般に，コンクリート表面の下地処理を行った後，アンカーピンなどにより埋設型枠を設置，流動化コンクリートまたは無収縮モルタルなどの裏込め材を充てん，養生・仕上げといった工程で実施する。

使用材料は，埋設型枠には硬質塩化ビニル樹脂板，高密度ポリエチレン樹脂板，ビニルエステル樹脂系レジンコンクリート板，ビニルエステル樹脂FRP板などがあり，裏込め材には流動化コンクリート，無収縮モルタルなどを用いる（日本下水道事業団，2002）。近年，パネル取付け工法と同様，耐久性に優れる，品質の確保が容易であるなどの特長を有する埋設型枠工法が開発されてきている（日経コンストラクション，2002）。

(4) 管路更生工法

管路更生工法は，管路施設に特化した表面被覆工法で，その種類には，反転工法，形成工法，製管工法，鞘管工法，推進工法，ライニング工法がある（日経コンストラクション，2002）。主に下水道などで用いられ，近年，農業用水路（管路，水路トンネルなど）の被覆材としても活用されている。管路の内径や形状，既設管の断面耐荷力などにより工法が選定されている。特に，下水道における化学的腐食では，鉄筋などの鋼材の断面欠損に至るケースも多く，その場合は補強対策を併用する必要があることから，補強対策を兼ねた工法が多くなってきている。

農業用水路などでは、ひび割れを生じたコンクリートや摩耗などにより躯体断面の減少したコンクリートが多くみられることから、こうした表面被覆工法を耐久性の回復・向上対策に加え、漏水防止や表面平滑性確保を目的とした機能性の回復・向上対策として活用していくことも有効であると考えられる。

d その他の補修工法

その他の補修工法としては、はく落防止工法、電気化学的防食工法などがある。はく落防止工法では、近年の第三者被害対策の推進により、連続繊維シート接着工法、はく落防止対策を目的とした表面被覆工法、FRP接着工法、アンカーやネットを使用したはく落防止工法など、多種多様な材料・工法を用いた技術開発が進められている。

電気化学的防食工法には、電気防食工法、脱塩工法、再アルカリ化工法、電着工法がある。再アルカリ化工法を除き、主に沿岸部に位置する構造物の塩害対策に用いられる工法である。港湾施設における塩害では鉄筋などの鋼材の断面欠損に至るケースも多く、その場合は補強対策を併用する必要がある。そこで最近では、電気防食工法と補強工法を併用できる技術が開発されてきている(日経コンストラクション, 2002)。

農業水利分野のコンクリート構造物では、はく落防止工法や電気化学的防食工法は、使用する場所が限定されるため、経済性を含め、効率のかつ効果的な適用となるように十分に検討する必要がある。

e 補強工法

補強工法は、既設コンクリート部材の表面に、コンクリート増厚(巻立て)、鋼板接着、FRP接着などを施し、部材の耐力を回復・向上および変形抵抗性を向上させる工法であり、その結果、構造物の耐久性の回復・向上にも寄与できる。

(1)コンクリート増厚(巻立て)工法

コンクリート増厚(巻立て)工法は、既設コンクリート部材の外側にコンクリート、鉄筋コンクリート、モルタルを打ち足し、部材断面を増加させることにより耐力の回復・向上を図る補強工法である。主に床版などでは増厚工法、主に橋脚(柱)などでは巻立て工法が適用される。床版の増厚工法には、その上面を増厚する上面増厚工法、下面を増厚する下面増厚工法がある。上面増厚工法は、床版上面を切削、研掃後、鋼繊維補強コンクリートを打設する工法であり、鉄筋補強を行う場合もある。下面増厚工法は、床版下面に鉄筋を配置し、接着性の高いモルタルを左官または吹き付ける工法である。

(2)鋼板接着工法

鋼板接着工法は、既設コンクリート部材の主として引張応力作用面に鋼板を取付け、鋼板とコンクリートの隙間には注入用接着剤を圧入し、コンクリートと接着させて既設部材と一体化させることにより、曲げ耐力と押抜きせん断

耐力の向上を図る工法である。隙間に注入用接着剤を圧入することで、既設コンクリートのひび割れ内部にも注入材が充てんし、ひび割れの開閉を拘束する効果も期待される。なお、一般的に注入材としては、エポキシ樹脂接着剤が用いられている(日本コンクリート工学協会, 2003b)。また、コンクリート構造物の劣化では、鉄筋の断面欠損を生じる場合があり、その際の補強対策として活用することも可能である。

(3)FRP接着工法(繊維シート接着工法)

FRP接着工法(繊維シート接着工法)は、既設コンクリート部材の主として引張応力作用面に、連続繊維を1方向あるいは2方向に配置してシート状にした補強材、あるいはこれに現場で含浸接着剤を含浸・固化させた補強材を接着して、既設部材と一体化させることにより、主に曲げ耐力の向上を図る工法である。繊維シートには、炭素繊維シート、アラミド繊維シートなどがある。繊維シート接着工法には、軽量で現場成形が容易なため、作業空間が限定される場所での作業が可能である、耐食性に優れるため、海洋環境などの構造物にも適用できる、ひび割れ拘束効果や耐力の向上効果が期待でき、積層数の調整により補強量を選定できる、繊維シート間に隙間をあげ格子状に貼り付けることで補修後もコンクリート表面を露出させることができ、その後の経過観察や部材内の滞水防止が可能となる、などの特長がある(日本コンクリート工学協会, 2003b)。一方、断面剛性の増加は小さく、剛性の向上効果は期待できない、変状が著しい場合の補強効果については、別途検討が必要である、などの指摘もあり、適用する場合にはこれらについて照査する必要がある。

最近では、湿潤面においても良好な接着性を有する材料、耐食性に優れる材料、補強効果に加え補修後の通水能力の回復・向上効果を有する工法など、様々な材料・工法が開発されてきている。こうした補強工法を、農業水利分野のコンクリート構造物の補強対策として活用していくことも、有効であると考えられる。

農業水利分野に適用する際の留意点

1 農業水利分野の要求性能と特有の条件

農業水利分野のコンクリート構造物における、発生する主な変状の特徴とその原因、構造物の要求性能と変状により受ける影響、補修技術に要求する性能、ならびに農業水利分野に特有の条件について、以下に整理する。

a 構造物に発生する主な変状の特徴と原因

農業水利分野のコンクリート構造物には、開水路、水路トンネル、パイプライン、ダム、頭首工、用排水機場などが挙げられる。頭首工や用排水機場などは主にRC構造物であり、建設年代の古い開水路や通常の水路トンネルの多くは無筋コンクリートである。

構造物に発生した変状が、鉄筋腐食に関係する劣化やコンクリート自体の劣化であるならば、他分野の構造物と同様、補修技術の主たる対象は劣化となる。また、水路トンネルにおける変状も、その基本的な発生原因やメカニズムは他分野のトンネルと同様である。

一方、開水路や水路トンネルに発生する摩耗は、農業水利分野の構造物に特有の劣化の一つである（長束ら、2002a）。摩耗は、その発生程度により、通水能力を低減させ、水理的機能や水利的機能を低下させる。さらに、部材厚の減少に至った場合などでは、構造的機能をも低下させる。部材がRCの場合には、摩耗はかぶりコンクリート厚を減少させるため、鉄筋腐食に関係する劣化を助長させる原因にもなり得る。また、漏水の原因となる比較的幅の広いひび割れや目地材の劣化は、農業水利分野の構造物では特に重要な問題となり、補修技術の対象となる。

b 構造物の要求性能と変状により受ける影響

農業水利分野の構造物では、使用性能および耐久性能を重視する場合が多い。例えば、摩耗により表面の平滑性が失われ、流速に影響を及ぼす場合や、ひび割れや劣化した目地からの漏水により通水量が減少した場合などでは、水理的機能あるいは水利的機能といった機能性が低下し、使用性能が低下する。それに対し、粗度係数改善対策や目地からの漏水防止対策などの補修を行い、低下した性能の回復・向上を図ることが重要となる。

一方、第三者影響度に関する性能は、農業水利分野では要求される構造物が限定される。すなわち、農業用水路などでは、コンクリート片のはく落による第三者被害の発生は考え難い。

c 補修技術に要求する性能

劣化により低下した耐久性の回復・向上が目的である場合には、劣化因子の除去、劣化因子の侵入防止に関する性能を要求することになる。一方、機能性の回復・向上が目的の場合には、漏水を防止する性能や表面を平滑に保つ性能などを要求することになる。

d 農業水利分野に特有の施工・環境条件

補修技術の施工にあたって生じる前述の5条件(1e) に関して、農業水利分野に特有の条件を以下に示す。

構造物（施設）の機能を確保する：農業水利分野の構造物、特に農業用水路などでは、補修後の通水断面確保、粗度係数改善、漏水防止といった性能が要求される。補修後の通水断面の減少を粗度係数改善により補う対策も有効である。

供用下の施工に対応する：水路トンネルなどでは、作業空間の制限に対応可能な材料・工法を選定しなければならない。特に管路施設では、人力施工が不可能である場合もあり、その場合には、管路専用の工法を検討する必要がある。

夏季および冬季の気温変化に対応する：農業用水路などでは、施工は主に非灌漑期の冬季に限られる。低温下での施工においても、作業性が確保される、新旧材料の一体化が確実である、材料の強度発現性に影響を受け難いといった性能が要求される。

特定の劣化外力に抵抗する：農業用水路の特有の劣化である摩耗に対し抵抗する性能が要求される。また、寒冷地では凍害に抵抗する性能が要求される。

水に対する種々の抵抗性を有する：農業水利分野の構造物では、通水量の確保自体が要求性能となるため、漏水を防止する性能は必要不可欠になる。また、施工中および施工後の湿潤環境（水中環境、乾湿繰返しを含む）は避け難いため、水の影響による性能低下（新旧材料間の接着性、強度発現性などの性能低下）を生じない材料・工法を適用しなければならない。従って、水に対する種々の抵抗性（漏水防止性、耐水性など）が要求される。

2 他分野の補修技術を適用する際の留意点

他分野のコンクリート構造物補修技術を農業水利分野に適用する際は、以下の点に留意する必要がある。

(1)補修技術に期待する効果の把握

各々の補修技術に期待する効果（各々の補修技術により改善される効果）を明確にする必要がある。一例として、道路施設分野と農業水利分野のコンクリート構造物に要求される主な性能および補修技術に要求する主な性能を対比してTable 1に示す。道路施設分野の補修技術に期待する

Table 1 農業水利分野のコンクリート構造物の補修技術に要求する主な性能

The main requirement performance of repair technique for concrete structure of agricultural facility

分野	構造物に要求される主な性能	補修技術に要求する主な性能				
		ひび割れ補修工法	断面修復工法	表面被覆工法	はく落防止工法	補強工法
道路(橋梁)コンクリート構造物	耐久性回復・向上 第三者影響度改善	劣化因子の侵入防止	劣化因子の除去	劣化因子の侵入防止	第三者被害防止	耐荷力の回復・向上 変形抵抗性向上
農業水利コンクリート構造物	耐久性回復・向上 機能性回復・向上	劣化因子の侵入防止 漏水防止対策	劣化因子の除去 漏水防止対策 表面平滑性確保	劣化因子の侵入防止 漏水防止対策 表面平滑性確保	(水路橋等で活用)	耐荷力の回復・向上 変形抵抗性向上

効果では、耐久性の回復・向上と第三者影響度改善が主である。一方、農業水利分野では、耐久性と機能性（水利的機能、水理的機能、構造的機能など）の2つを同時に回復・向上させることが必要である。例えば、橋梁などで行われているひび割れ補修工法は、ひび割れからの劣化因子の侵入を防止し、耐久性を向上させることができれば目的が達成される。しかし、農業水利分野のコンクリート構造物では、水圧が作用した場合でも漏水が防止されるという性能が確保できるひび割れ補修工法でなければならない。また、橋梁などで行われる断面修復工法では劣化因子の除去が、表面被覆工法では劣化因子の侵入防止が達成できればよいが、農業水利分野ではこれに加え、漏水防止対策や表面平滑性確保といった性能が必要である。Fig.11に断面修復工法において、Fig.12に表面被覆工法において期待する効果を示す。

(2)必要な効果と不要な効果の区別

既往の補修技術の多くは、他分野の構造物において要求される性能を満たすため開発されたものが多く、農業水利分野で期待する効果と合致しないことがある。性能が十分でない場合は適用に至ることはないが、要求する性能を満

たしている場合でも、不必要な性能を付与することは経済性の点で問題となるばかりでなく、悪影響を及ぼすことにもなりかねない。

例えば、農業用水路にFRP接着工法を施す場合は、採用する工法の性能を十分に検証する必要がある。FRP接着工法は、使用する繊維の種類によりその効果は全く異なる。炭素繊維などの引張強度に優れる繊維を用いた場合は、補強効果やひび割れの拘束効果が期待できるが、ビニロン繊維などでは、はく落防止の効果しか期待できない。最近では、こうしたFRP接着工法をASRによる劣化に適用する場合もあるが、仮に、高強度を期待していないビニロン繊維を用いたFRP接着工法をASRのよる劣化を生じた部材に適用した場合は、拘束効果が得られないばかりか、コンクリート内部に水分を封入することとなり、ASRを促進させてしまうこともある。

一方、最近では、港湾施設などで使用されている断面修復材には、遮塩性に優れ、表面被覆工法を必要としないものも存在する。こうした断面修復材は耐摩耗性に優れるものも多いとはいえ、無筋コンクリートを主体とした農業用水路の補修には不必要な性能も多く含んでおり、適用に当



【道路分野のコンクリート構造物】

耐久性の回復・向上：劣化因子の除去（鉄筋防錆効果）



【道路分野のコンクリート構造物】

耐久性の回復・向上：劣化因子の侵入防止



【農業水利分野のコンクリート構造物】

耐久性の回復・向上：劣化因子の除去（摩耗防止効果）
機能性の回復・向上：漏水防止対策・表面平滑性確保

Fig.11 断面修復工法に期待する効果

The effect of concrete section restoration method



【農業水利分野のコンクリート構造物】

耐久性の回復・向上：劣化因子の侵入防止
機能性の回復・向上：漏水防止対策・表面平滑性確保

Fig.12 表面被覆工法に期待する効果

The effect of concrete surface protection method

たってはその妥当性の検討を十分に行う必要がある。

(3)経済性に留意

前述のように、既往の補修技術は他分野の構造物の要求する性能を満たすために開発されたものがほとんどである。他分野の構造物の多くは、元来、改修・改築を前提としていない構造物が多く、基本的に「更新」は「補修・補強」を意味している。他分野と同様の補修を行った場合でも、農業水利分野では改修・改築に係る費用を超えることも十分に考えられるため、経済性には常に留意する必要がある。

結 言

農業水利分野のコンクリート構造物において、補修の目的が構造物の耐久性の回復・向上だけであれば、既往の他分野の補修技術を選択して有効に活用できると考えられる。また、構造物の機能性の回復・向上といった目的に対しても、活用可能な工法は存在すると思われる。しかしながら、現時点では農業水利分野のコンクリート構造物としての要求性能に対して十分な照査がなされていないため、経済性を含め、その評価が不十分である。したがって、今後は、農業水利分野のコンクリート構造物の要求性能を念頭においた、補修技術の性能照査、評価方法、選定方法の検討ならびにその開発が重要であると考えられる。

参考文献

1) 石村英明・長束勇・渡嘉敷勝・森充広・田熊章 (2003) : レジンコンクリートパネルによる水路再生内張工法の開発, 第54回農業土木学会関東支部大会講

演会講演要旨, p.64-66

- 2) 勝山達郎 (2002) : ストックマネジメントの導入による農業水利施設の有効活用, ARIC情報, No.67, p.17-21
- 3) 佐野正・中村準 (2003) : コンクリート水路トンネルの内面補強に関する一提案, 平成15年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, p.590-591
- 4) 土木学会 (2001) : コンクリート標準示方書 (維持管理編), p.3-4, p.6-8, p.10
- 5) 長束勇・甲本達也・青山咸康・野中資博・服部九二雄 (2002a) : 農業水利コンクリート構造物の更新と維持管理, 農業土木学会誌, 70(12), p.3-6
- 6) 長束勇・直江次男・渡嘉敷勝・森充広・田熊章 (2002b) : 水路系コンクリート構造物の内張り再生工法の開発, 平成14年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, p.398-399
- 7) 日経コンストラクション (2002) : コンクリート補修講座, 日経BP社, p.106-135
- 8) 日本下水道事業団編 (2002) : 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル, p.9, p.29, p.5・4-5・10
- 9) 日本コンクリート工学協会 (2003a) : コンクリート診断技術 '03, p.1
- 10) 日本コンクリート工学協会 (2003b) : コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針, p.85-125
- 11) 若菜和之・西山敦・丸山久一・宇野祐一・平野宗宏 (1997) : エポキシ樹脂注入により補修した橋梁床版の30年後の評価, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, -278, p.556-557

Repair Techniques for Concrete Structures that are Applicable to Agricultural Facilities

NATSUKA Isamu, ISHIGAMI Akio, ISHIMURA Hideaki, TOKASHIKI Masaru
and MORI Mitsuhiro

Summary

It is important to secure the functions of concrete structures by timely and correct maintenance in order to pass them to the next generation. In this study, the requirements, performances and repair techniques of concrete structures from various areas were compared with those of concrete structures in agricultural facilities to determine techniques that can be applied to the maintenance of agricultural facilities.

The results of this study showed the present repair techniques for other concrete structures can be effectively used for the recovery and improvement of durability of concrete structures in agricultural facilities. However, repair techniques that make the most of recovery and improvement of the functions of concrete structures need to be properly selected also considering the economics. From now, performance verification, examination of the methods of evaluation and selection, and development of repair techniques are important for improving the requirements and performances of concrete structures in agricultural facilities.

Keywords : agricultural facility, concrete structure, repair technique, requirement performance

農業工学研究所の機構及び所在地

理 事 長
理 事
監 事
企画調整部長
総務部長
農村計画部長
農村環境部長
地域資源部長
農地整備部長
水工部長
造構部長

茨城県つくば市観音台二丁目1番6号
(郵便番号 305 - 8609)

DEPARTMENTAL ORGANIZATION OF THE
NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING
INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION

President

Executive Director

General Auditor

Director, Department of Program Management and Coordination

Director, Department of General Affairs

Director, Department of Rural Planning

Director, Department of Rural Environment

1-6, Kannondai 2-choume,

Director, Department of Regional Resources

Tsukuba City, Ibaraki,

Director, Department of Agricultural Environment Engineering

305-8609 Japan

Director, Department of Hydraulic Engineering

Director, Department of Geotechnical Engineering

本技報から転載，複製をする場合は独立行政法人農業工学研究所の許可を得て下さい。

農業工学研究所技報 第202号

平成16年3月25日 印刷

平成16年3月30日 発行

独立行政法人農業工学研究所

茨城県つくば市観音台二丁目1番6号
郵便番号 305-8609 電話 029(838)8169 (情報資料課)

TECHNICAL REPORT
OF THE
NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING

No. 202

March 2004

CONTENTS

OOTA Kouki Hydrological Surveys and Construction of Irrigation Facilities in Inland Arid Regions of the Republic of Chile -A Case Study of Cost-Sharing Construction of Hydraulic Structures by Public Participation - ...	1
FUKUYO Narufumi, YAGI Hironori, TSUTSUI Yoshitomi, MITSUHASHI Nobuo and KAMATA Motohiro Present Situation of Basin Environment Management by Non-profit Organizations : From Questionnaire Surveys for NPOs	19
KUNIMITSU Yoji An Analysis on the Relation between the Visit Frequency of the Rural Park and its Evaluation: For Measuring Rural Amenity by CVM Application	35
AIZAKI Hideo Effects of Individual and Household Characteristics on Evaluation of Facilities for Promoting Leisure Activities in Rural Areas -Hypothetical Travel Behavior Based on Choice Experiments -	45
IIJIMA Takashi, ISHIDA Kenji, MATSUMORI Kenji and MINETA Takuya Topology normalization system for GIS polygon data	61
NAKAMURA Masato and YUYAMA Yoshito Natural Drying of Rural Sewage Sludge with a Drying Bed System	71
MASUMOTO Takao, KUBOTA Tomijiro, MATSUDA Shuh and TAKAGI Azuma An Evaluation Method of Water Resources in Paddy Regions to Preserve Ecological Environments	81
ISHIDA Satoshi, HARA Ikuo, TSUCHIHARA Takeo and IMAIZUMI Masayuki Behaviors of groundwater flow caused by construction of drain tunnel in landslide area -Using the water content of the bedrock and the radon concentration in the groundwater as an indicator-	91
TANAKA Yoshikazu, MUKAI Akie and TARUYA Hiroyuki The flow analysis in perpendicularly made pipe	101
TANAKA Yoshikazu, SHIMA Takeo, NAKA Tatsuo, MUKAI Akie and TARUYA Hiroyuki A measurement study of refraction loss factor in the steel pipe.....	113
Hideto Fujii Hydrological Survey and Water Balance of the Cambodian Floodplain in the Mekong River	127
TANI Shigeru, FUKUSHIMA Shinji, KITAJIMA Akira and SAKAMAKI Katsuyuki Design and Construction Method to Repair Embankment by Crushed and Compacted Stabilized Muddy Soil in old small Earth Dam	141
NATSUMI Isamu, ISHIGAMI Akio, ISHIMURA Hideaki, TOKASHIKI Masaru and MORI Mitsuhiro Repair Techniques for Concrete Structures that are Applicable to Agricultural Facilities	183
NAKAZATO Hiroomi, KURODA Seiichiro, OKUYAMA Takehiko, ITO Goichi and SASAKI Yutaka Applicability of helicopter electromagnetic survey for landslide hazard assessment	197
KURODA Seiichiro, NAKAZATO Hiroomi and OKUYAMA Takehiko The accuracy of the estimation for Electrical Conductivity Profile in Geo-environment by the Profiling of Transmittive High Frequency Electromagnetic Wave -Numerical Study by Electrical Magnetic Field Simulation-	205

NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING

INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION

Tsukuba, Ibaraki, 305-8609 Japan