

◆ 報 文 ◆

アルカリ骨材反応劣化進行予測と維持管理の考え方

河野広隆* 渡辺博志** 山口順一郎***

1. はじめに

日本ではこれまでに莫大な数の土木用コンクリート構造物が造られてきたが、これら構造物の健全性やサービス水準を保つことは、安全かつ快適な社会基盤の確保のために不可欠である。これまでは構造物の新設に多くの力が注がれてきたが、今後これらの構造物に対する維持管理費の急増が懸念されている¹⁾。膨大な社会資本の維持管理に関する問題は、先進国に共通の課題であるが、さらに日本特有の問題として、高度成長期に集中して構造物が整備されたことがあり、維持管理費の平準化も大きな課題である。

本誌前報の「道路橋に見るアルカリ骨材反応の実態」²⁾ (以下、前報の調査を「道路橋調査」と略す) で示したようにアルカリ骨材反応 (以下、ASR) によるコンクリート構造物の劣化は、日本では決して珍しいものではなく、数多くの構造物に見られるものであが、ある建設時期に特に高い割合で発生している。このため、その維持管理の対応を誤ると、危険な構造物を放置したり、逆に不必要に過大な補修を施すことにもつながりかねない。

構造物の適切な維持管理というのは、人間の健康管理や病気の治療と似た面がある。まずは劣化の実態を把握し、構造物の劣化進行予測とその影響度を想定することが重要である。その想定結果をもとに、構造物間の、あるいは劣化原因間の対応の優先順位を付けていく必要がある。

ここでは、これまでの調査から判明した日本のASR劣化構造物の劣化進行の特徴を整理し、それを基にそれらに対する維持管理の対応のあり方について検討する。

2. 劣化進行予測

2.1 検討方法

構造物の耐久性を把握したり、劣化進行状況を

把握するためには、一般に長期間の検討が必要である。これが、この分野の研究を実施する上での大きな障壁になっている。

ASRのような劣化現象が、今後どのような進展を見せるかを検討するには、大きく分けるとふたつの方法がある。ひとつ目は、特定の構造物を時間をかけて観察することである。もうひとつは、多数の構造物を調査して、その統計的なデータから劣化の進行を推測する方法である。それぞれに一長一短があるが、どちらの方法も、時間や手間暇がかかるため、あまり実施されてこなかった³⁾。

土木研究所 (以下、土研) では、1980年代初めASRで劣化したと判定した数十の構造物に対し、数年から20年ほど経過した後で、追跡調査⁴⁾ を行った。この結果は上述のひとつ目の手法に活用できる。「道路橋調査」の結果は、ふたつ目の統計的な手法による劣化進行予測に活用できる。ここではまず、このふたつの調査結果から、日本のASR劣化構造物の劣化進展を明らかにする。

2.2 追跡調査結果

追跡調査では1985～87年ころに調査した構造物を中心に、土研に詳細な記録のある69のASR劣化構造物を、2003から2004年にかけて再度調査を行った。対象とした構造物は、図-1に示すように、その分布は北陸が5割強、中国が2割強、近畿が1割弱で、構造物の種類としては橋梁下部工が約7割、擁壁が2割弱である。竣工年は、1970-1979年が約5割、1960～1969年が3割である。最初の調査時点での竣工からの経過年数は、6割が11～20年、2割が21～30年であった。

調査法としては、まず、過去の写真や図書類を現時点で見て、「補修が必要」「補修の要否の検討が必要」「経過観察」等に分類した。次に現時点での状況を現地の目視または写真で見て、同様の判定を行った。その結果を図-2に示す。この調査結果の概略をまとめると以下のようになる。

①補修・補強について、過去の調査時点では約1割 (69件中9件) の構造物の補修が行われており、現時点では約6割 (69件中41件、過去調査

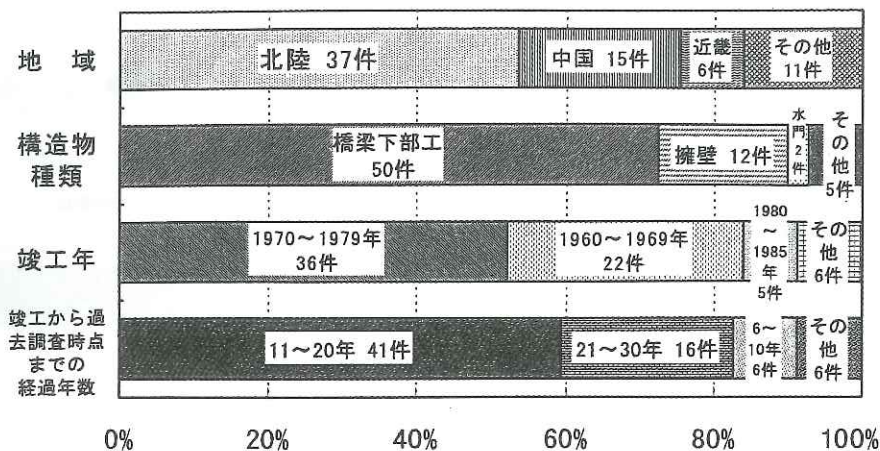


図-1 調査対象構造物の特徴

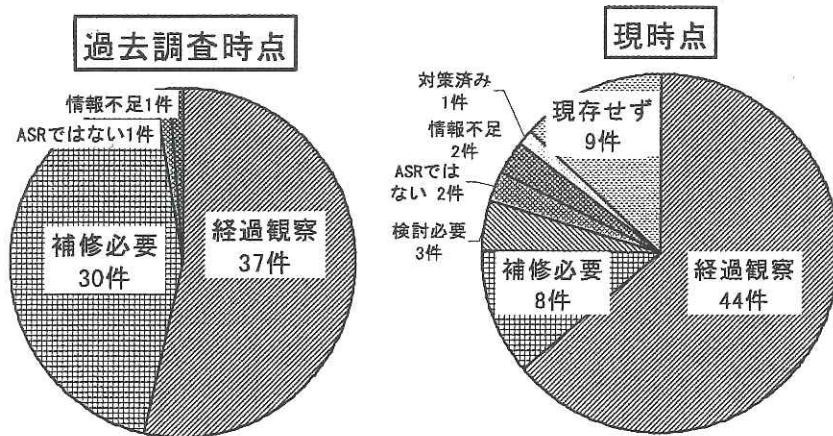


図-2 評価結果

- 時点での補修含む)が補修、補強、撤去等、何らかの対策が採られている。
- 劣化部位の特徴は、橋梁の下部工では、上部からの水の影響を受けやすい橋台縦壁・胸壁端部や橋脚はり側面等で多かった。擁壁では、背面からの水の影響で全面に劣化が見られた。
 - 劣化推移の評価を行った55件のうち約8割が、現時点で「経過観察」の状態であり、過去調査時点から現時点の調査までの間に著しい劣化の進展はみられなかった。つまり、ASRの劣化(膨張)は、緩やかに進行し、次第に収束するものであり、時間の経過に比例して劣化が著しく進行するわけではないといえる。
 - 補修部にひび割れやはがれが見られるものがあった。補修時期(膨張過程における時期)、補修材料、環境条件によっては、補修箇所の耐久性

が十分でなかったものがある。

- 全構造物69件中9件は、現時点で現存していなかった。その理由としては、構造物の機能上の変更(例えば、路線変更等)とASRによる劣化の双方が考えられるが、明確ではない。
- 過去に一度でも補修・補強が行われた構造物のうち約7割は、現時点で「経過観察」の状態であり、現時点で補修・補強の効果が見かけ上継続している。一方、約2割は現時点で「補修必要」の判定であり、これらは補修箇所が再劣化して、健全性が保たれていない状態であった。
- 過去に一度も補修・補強を行っておらず、現存している構造物のうち約9割が「経過観察」であった。つまり、補修・補強を行わなくても、多くの構造物は、対策を必要とする劣化状態までには至らない。

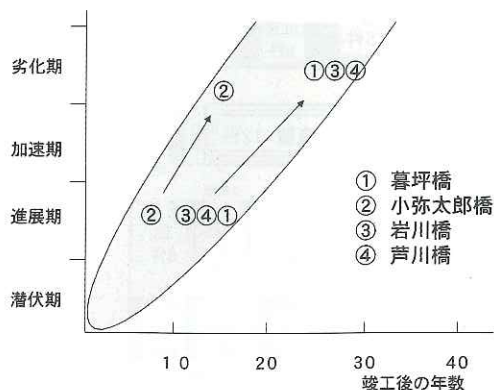


図-3 塩害橋の劣化進行

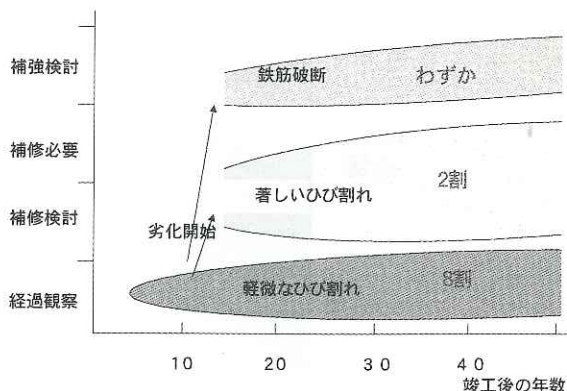


図-4 ASR劣化コンクリート構造物の劣化進行

2.3 「道路橋調査」からの劣化進行予測

本誌前報の「道路橋に見るアルカリ骨材反応の実態」からも、ASRによる膨張は多くの橋梁で20年以内に収束したため、1986年以前の橋梁では「補修必要」あるいは「補修検討」の構造物の割合はほぼ一定すると考えるのが妥当である、と結論した。そして、「経過観察」に該当する割合は全体的に見ると約8割である。

2.4 ASR構造物の劣化進行

以上の2調査からASRの劣化進行の概要が見えてくる。ここでは、劣化進行の状況によって、構造物の維持管理の方法が大きく異なることを考慮し、もうひとつのコンクリート構造物の重要な劣化原因である塩害の劣化進行と比較しながら、劣化進行パターンを明確にする。

土研では塩害を受けたプレストレストコンクリート(PC)橋の各種調査を行っている。そのうち、塩害により架け替えられた4つの橋梁について、桁の劣化進行の状況⁵⁾を見てみる。図-3は横軸に竣工後の年数を、縦軸に2001年度制定土木学会コンクリート標準示方書「維持管理編」に示された塩害の劣化程度「潜伏期」「進展期」「加速期」「劣化期」を示す。各橋梁で塩害が顕在化し、最初の補修を行った時点を「進展期」、供用終了時を「劣化期」としてプロットしている。橋梁①、③、④はいずれも秋田県から新潟県にかけての東北・北陸の日本海沿いに走る国道に位置した橋梁である。この国道では、これらの橋と同時代に建設されたポストテンション方式PC橋は、大部分が著しい塩害を受けており、何らかの補修を行わなければ①、③、④と同程度、あるいはもっと短時間で架け替えを余儀なくされる状況にあっ

た。②は九州の沿岸部に位置する国道橋である。

これに対して、ASRによる劣化進行状況を2.2と2.3の調査結果をもとにモデル化すると図-4のようになる。ここで縦軸には、塩害で用いた「潜伏期」「進展期」「加速期」「劣化期」という表現がASRでは誤解を招きかねないので、「経過観察」「補修検討」「補修必要」「補強検討」という、2.3の調査の際に用いた判定レベルを用いた。

図-3と図-4を見比べると、大きく異なることが判る。つまり、沿岸部の塩害ではひとたび橋桁に劣化の兆候が出ると、電気防食等の特殊な補修を行わない限りは、ほとんどの橋梁が短期間に「劣化期」まで進展してしまう。これに対し、ASRでは、その兆候が現れても、大部分は軽微なひび割れのレベルで推移する。2割程度が補修を要するようなレベルに到る。さらにごくわずかの橋脚や橋台で鉄筋破断のような深刻なレベルに到る。

4. ASR構造物に対する維持管理

4.1 劣化構造物に対する基本的対応

図-3と図-4およびこれまでの筆者らの経験をもとに、塩害とASR劣化構造物に対する基本的な方向とその影響要因のごく概略をまとめると、表-1のようになると考える。表中の「予防保全」は塩害・ASRの症状が出ないように前もって対処するという意味である。この表のASRの欄は、ASR以外の中性化や凍結融解などにもある程度応用できると考える。塩害とASRの両者への基本的な維持管理の対応について考察する。

塩害は劣化の速度が速い。基本的には塩害地域の橋梁上部工などに発生場所が限られる。地域を限ると、そこでは現実にかかなりの確率で塩害が生

表-1 維持管理の基本的な方向と影響要因

	塩害	ASR
劣化の速度	速い	緩やか
発生地域・発生構造物	限定	限定しづらい
事後対処(補修)の効果	小さい	大きい/効かない
詳細調査の「効果/費用」	大きい	小さい
基本的な方向	予防保全	対症療法

じているし、新設構造物でもいずれ将来は劣化が生じる確率が高い。また、一度劣化が表面化すると、その後の補修は効果が薄く、膨大な費用がかかる。これらの理由で、塩害には基本的には予防保全で対処することが必要である。さらに、予防保全を前提とした詳細調査については、発生地域が限定されるため調査対象構造物が絞り込める、塩分浸透状況を把握できれば劣化の進行をかなりの精度で予測できる⁶⁾、等ため、詳細調査の「効果/費用」が大きい。この時の「効果/費用」を大略見てみる。例えば、図-3で示した4つの塩害橋では、補修を主体とした維持管理費が初期建設費と同程度必要となっていた⁵⁾。しかも寿命は補修を行っても30年程度である。もし、塩分浸透が軽度の段階で表面塗装などを施し、以降の塩分浸透を抑制できれば、補修費は概略1桁少なくなる。5年に一度の塩分浸透量調査の費用は初期建設費の1/1000のオーダーで、補修した場合の表面塗装の塗り替えが10年に1度必要だとしても、撤去費用と架替え橋の初期コストに相当する分の経費が低減されることになる。調査費用が小さいため、調査対象構造物を実際に塩害が進行する構造物数の10倍の数に広げたとしても予防保全の優位性は変わらない。このようなことから、国土交通省道路局では2004年春に「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領(案)」⁷⁾を出して、全国の塩害地域の道路橋に対し「予防保全」を前提とした対応を指示している。

しかし、「予防保全」をASR構造物への対応に使おうとすると非常に不経済となる。まず、これらの劣化が生じる発生地域・発生構造物を絞り込むことが難しく、もし「予防保全」のために劣化の兆候のない構造物を全て点検しようとする、膨大な数の構造物が対象となる。骨材の地域的特性などを考慮して対象を絞ることも考えられるが、骨材は広範囲に輸送されることもあり、絞込みは容易ではない。次に、ASRの場合、劣化の兆候が現れる前に劣化が生じることを予測しようとする

と、骨材の詳細な調査、コンクリート中のアルカリ総量の測定、コアの膨張量測定など、多くの試験が必要となる。手間や時間がかかる試験方法が多く、多くの費用がかかることが予想される。さらに、日本のASRを考える場合、維持管理の対象となる構造物のほとんどが竣工20年以上のものであることも重要である。20年以上劣化の症状が出なかった構造物で、これから新たに劣化が顕在化するものは極めて少数であると考えられる。最後に、もし仮に劣化が生じた場合でも、多くのASRでは塩害ほど急速に劣化が進まないの、事後の対応が十分に可能であると考ええる。

これらの要因を考え合わせると、ASRの「予防保全」を行うのは「効果/費用」が低すぎることになる。なおASRによるひび割れが生じた後の鉄筋腐食に対しては、「予防保全」が有効であると考ええる。

4.2 ASR構造物に対する具体的対応

ではASR劣化構造物に対して具体的に、どのように対応するのがよいかを考察する。その前に、前述の2調査と、筆者らのこれまでの技術指導等を通して得た経験から、ASR構造物の維持管理を行う上で、配慮すべきことをいくつか示す。

4.2.1 ひび割れ幅と鉄筋腐食

ASRで劣化が進行した場合、最終的に問題になるのは、ひび割れ部の鉄筋の腐食(錆)による損傷である。他の劣化要因と比較して著しく大きなひび割れが生じる場合が多いので、その分鉄筋腐食も深刻なことが予想される。「道路橋調査」では著しいひび割れの見られる19構造物で、はつり調査を行っている。この結果、25mmもの大きなひび割れが入っていた海岸沿いの構造物で、一部に腐食による鉄筋の破断が見られたものがあった。その他、1mmから5mmのひび割れが見られた11箇所、程度の差はあるが鉄筋に腐食が見られた。しかし、7箇所ではコンクリートに1~4mm程度の大きなひび割れが生じているにもかかわらず、腐食は生じていなかった。

一般のコンクリート構造物では、補修の要否を判断する際のひび割れ幅は、環境条件によって0.2から0.5mmである。それ以上になると、長期的には鉄筋が腐食するといわれている。これに比べると、ASR構造物では、ひび割れ幅に比べ鉄筋腐食の程度は予想よりはるかに小さい。これは、ひび割れがASR反応生成物で塞がれたなどの影響があるものと推察されるが、いずれにしても、小さ

なひび割れ幅では、鉄筋はそれほど容易には腐食を開始しないようである。

4.2.2 水かかりと劣化進行

前述のふたつの調査で、雨掛かりのある橋脚・橋台の端部でひび割れなどの変状が著しい場合が多く見られた。また、連続桁の橋梁では、雨水が落ちるジョイントの下に位置する下部構造のみに劣化が生じている場合があった。さらに、暫定2車線供用の全4車線道路の上下線一体型の下部構造で上部に桁のかかっている部位にのみ劣化が生じている事例がいくつかあった。これらの例からは、雨掛かりの処理、橋梁上面の排水処理などの水仕舞いの重要性が再認識される。

4.2.3 排水処理に対する無関心

その重要性に比べて、実際の橋面排水については、現場ではあまり関心が高くない。排水孔がふさがっていたり、配水管が腐食している例が多い。

4.2.4 劣化程度の判断

「道路橋調査」では、資料提出時に各事務所でASR劣化構造物に対する補修の要否を判断してもらった。その結果は事務所ごとにかなりばらついていたが、全体的に見ると、7割以上の構造物に対して補修が必要と判断されていた。この数値は、提出資料に対し土研で判断した約25%と大きくかけ離れていた。これは、ASR以外の劣化要因でも見られる傾向で、現場の管理者は安全側の判断を下す傾向にある。

4.2.5 ASR関連の各種試験とその結果の応用

構造物の劣化原因がASRであるかどうかは、ある程度の経験を有する技術者が見れば、かなりの確からしきで「目視」で判断できる。しかし、厳密にASRが原因であることを特定しようとすると、かなりの費用、時間、手間のかかる試験を多数行うことが必要である。過去に出版されている多くのコンクリート構造物の維持管理・耐久性の教科書には、これらの試験方法が列挙され、多数の試験を行うことが推奨されている。

しかし、実験室でこれらの試験を行っても、実構造物におけるASRの劣化進行を予測することは困難であり、補修を行うかどうかの判断を行う際には、将来にわたって劣化が進行するかどうか不確かな状況で決断することが求められる。残念ながら現在の技術レベルでは、多数の試験を行ってデータを集めたとしても、この不確かさはほとんど変わらない。であれば、実務上は、詳細調査に時間を費やすよりも、過去のASR構造物

の劣化・補修事例などを参考に迅速な判断を行う方が効率的であるといえる。

もちろん、詳細な調査を行ってデータを蓄積すれば、将来的には、より精度の高い点検手法や劣化予測手法が開発されることが期待される。このためには、調査結果が広く公表され、全国の研究者に共有されることが重要である。調査箇所や調査手法については、あらかじめASRに詳しい研究者から助言を得るのがよい。

4.3 ASR劣化構造物の点検・維持管理のポイント

上述の調査結果から、日本のASR劣化コンクリート構造物を合理的に維持管理ために考慮すべき事項をまとめると以下になるよう。

- ①1986以降の新設コンクリート構造物に対しては、ASR抑制対策が効果を上げている。つまり、維持管理の対象となる構造物はほとんどが竣工20年以上のものである。
- ②多くのASR劣化構造物の劣化進行は図-4に示すように、図-3に示した塩害のような急激な劣化の進行が生じることはなく、穏やかに劣化が進むか、既に劣化が収束している。
- ③ASR劣化構造物のうち、約8割は補修が必要な段階までは到らず、構造的には問題のないレベルで、劣化が停止している。
- ④劣化の進行に対し、水の供給は非常に重要な役割を果たす。
- ⑤現状では、ひとたび始まったASR劣化進行を確実に抑制する補修方法はない。過去に多用された表面塗布による補修は、その効果がありそうなものもあるが、ないとしか考えられないものも多く、全体としての効果は不明である。
- ⑥かなり大きなひび割れがあっても鉄筋の腐食は予想以上に小さい。ひび割れからの鉄筋腐食は急速には進まない場合が多い。
- ⑦その一方で非常に限られた数の構造物ではあるが、コンクリートの膨張による鉄筋破断という深刻な状況に到っているものもある。
- ⑧現在行われている各種の詳細調査試験は、結果の補修等への反映が難しく、「効果/費用」が小さい。

これらのことから、ASR劣化構造物の点検・維持管理の要点を示すと、表-2のようになると考える。さらに、過去に施された既設補修の効果が曖昧な点や、水処理が非常に重要なことを考慮すると、ASR劣化構造物への補修の要点は表-3のようになると考えられる。

表-2 ASR劣化コンクリート構造物の点検・維持管理のポイント

- ①「予防保全」よりは「事後対応」
- ②大部分は「目視」による原因推定と劣化度判定が実用的
- ③詳細調査を行う場合は、対象構造物や試験項目を絞り込む
- ④補修は、水の供給を絶つことが先決、それ以上の補修は竣工後の年数や劣化状況を十分見極める
- ⑤幅広いひび割れのある構造物の鉄筋破断は要注意
- ⑥判断に迷うときは「専門家」に相談

表-3 ASR劣化コンクリート構造物の補修のポイント

- ①まずは水処理
- ②8割は経過観察、補修が必要なのは2割、を認識する
- ③確立した補修法は未定
- ④ひび割れ注入は有効、目安は1mm以上のひび割れ

5. 今後の課題

ここで提案したASR劣化構造物の維持管理の考え方を直ちに現場に導入した場合、構造物の管理者はかなりの不安を感じるようになることと予想される。その最大の原因は、「現場」で維持管理の的確な判断を下せる技術者が不足していることであると思う。このような場合、これまでは直ぐに「マニュアルの作成を」という話になった。しかし、構造物の劣化は構造物ごとに非常に個性があり、教科書に書いてあるような典型的な劣化パターンに該当する事例の方がむしろ少ない。つまり、マニュアルでは対応できない範囲が広い。

こうした問題を解決するには、「構造物の管理者」と「現場の診断士」、さらに「専門家」が有機的に役割を分担し、責任を果たしていくシステムの構築が不可欠である。例えば、「構造物の管理者」の重要な役割は、構造物をよく見て、構造

物の変化を記録する、記録を継続することである。変状を察知したら、「現場の診断士」は典型的な事例に対してはその場で対応する。この場合、マニュアルを活用することもできる。判断がつかない場合には、「専門家」へ判断を委ねる。そして、この流れが日常の業務と機能するシステムの構築が必要である。

一部、こうしたシステム構築への動きが始まっているが、資格者制度の問題、データベース構築といった課題も山積している。

現場の維持管理は、システム構築の完成を待ってはくれないため、もし現場で判断に迷うことがあれば、気軽に土研に相談していただきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方提言 2003. 04 <http://www.mlit.go.jp/road/current/kouzou/index.html>
- 2) 河野 他：道路橋に見るアルカリ骨材反応の実態、土木技術資料 Vol.47, No.12, pp66-71, 2005.12
- 3) 松本茂 他：「ASR損傷を受けた橋脚の追跡点検事例」コンクリートの耐久性データベースフォーマットに関するシンポジウム論文集, pp.27-32, 2002.12
- 4) 河野 他：アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の追跡調査、土木研究所資料第3955号, 2005.02
- 5) 河野 他：コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究—コンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査—土木研究所資料第3811号, 2001.03
- 6) 土木研究所HP「コンクリート中の塩化物イオン濃度分布簡易分析シート」、「使用マニュアル」http://www.pwri.go.jp/jpn/tech_inf/download.htm
- 7) 国土交通省道路局：「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（案）」2004

河野広隆*



独立行政法人土木研究所材料盤研究グループ長, 工博
Dr. Hiroataka KAWANO

渡辺博志**



独立行政法人土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム主席研究員, 工修
Hiroshi WATANABE

山口順一郎***



前 独立行政法人土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム交流研究員
Junichirou YAMAGUCHI