

◆ 建設省技術研究会特集 ◆

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

建設省道路局国道課

建設省土木研究所橋梁研究室、同コンクリート研究室

東北地方建設局道路管理課、関東地方建設局道路管理課

北陸地方建設局道路管理課、九州地方建設局道路管理課

沖縄開発庁沖縄総合事務局道路管理課

1. まえがき

今日、社会资本整備の充実とともに、土木構造物のストックは膨大なものとなっている。道路橋の場合、その数は橋長15m以上の橋だけでも既に約13万橋(うちコンクリート道路橋約7.5万橋)^{注1)}に及んでいる。これらの維持管理の負担を軽減するためには、既設構造物の適切な維持管理と今後の新設構造物の長寿命化に関する様々な技術開発や施策が必要である。しかし、これまでの設計では、初期建設費を最小にすることに主眼が置かれているため、長寿命化のための技術の導入

注1) 一般国道(指定区間)では約9,200橋、うちコンクリート橋は約4,100橋。いずれも1996年4月現在

が容易でなく、これに関する技術開発のインセンティブが得られ難い状況にある。

現在、次期道路橋示方書の改訂作業では、維持管理、耐久性を重視して、設計年数(100年とする方向で検討中)を明確に示すとともに、この期間内でのライフサイクルコスト(LCC)を最小にするLCC最小化の概念を導入する方向で検討が行われている¹⁾。LCCとは、ある設計寿命の間に要する初期建設費、維持管理費及び架替費を合算したものである。LCC概念の導入は、新設橋に携わる関係者が維持管理費や架替費の意識を積極的に持つきっかけを与えること、LCCが長寿命化に関わる新技術の耐久性向上の効果を具体的に示す指標になることから、耐久性があり維持管理

表-1 コンクリート橋のLCCに関する調査一覧

項目	主な調査内容	調査方法	調査範囲		対象構造物	主担当
			局	事務所		
沿岸部のコンクリート橋の現状	塩害を受けたコンクリート橋の建設から撤去までの総費用	(1) 橋梁台帳等の既存資料による調査	東北地方建設局 九州地方建設局	海岸に面している事務所	塩害により著しい劣化を受け、各種の補修・補強が施された橋梁または撤去された橋梁	東北、九州各地方建設局 道路管理課
	塩害対策を施したコンクリート橋の現状	(1) 橋梁台帳等の既存資料による調査 (2) 目視による調査	北海道開発局 沖縄総合事務局 全地方建設局	海岸に面している事務所	道路橋の塩害対策指針(案)が適用され、平成7年度までに竣工した全橋梁	北陸地方建設局 道路管理課
	塩害を受けたコンクリート橋の補修・補強の現状	(1) 補修工事の設計図書、調査報告書等の既存資料による調査 (2) 目視による調査	沖縄総合事務局 東北、関東、北陸、九州、各地方建設局	海岸に面している事務所	塩害に対して補修・補強された橋梁。ただし、目視による調査の対象は、平成10年度以降に、新たな補修を実施した橋梁または点検・調査を実施した橋梁を除いてもよい。	沖縄総合事務局 道路管理課
沿岸部以外の橋の現状	沿岸部以外のコンクリート橋の維持管理の現状	(1) 橋梁台帳等の既存資料による調査	北海道開発局 沖縄総合事務局 全地方建設局	海岸に面していない事務所	1事務所につき1コンクリート橋 できるだけ補修履歴を有するものを抽出	関東地方建設局 道路管理課
	凍結抑制剤がRC床版の耐久性に及ぼす影響	(1) コア抜きによるコンクリートの塩分含有量等の測定	東北地方建設局	海岸に面していない事務所	打ち替え床版を中心に、20橋を抽出	東北地方建設局 道路管理課

負担の小さい橋づくりの促進に大きな効果があると考えられる。このLCC概念を円滑に導入するためには、その算定手法を明確にする必要があり、特に維持管理費の見積もり方に一定のルールが必要である。しかし、コンクリート橋についてみると、これまで鋼橋における塗装のような定期的なメンテナンスを行っていないため、コンクリート橋に要する維持管理費に関するデータが鋼橋に比べて充実していないのが現状である。

これらの点を踏まえて、本調査研究では、コンクリート橋の維持管理費の実態を、その背景となる損傷実態や維持管理の実態とともに明らかにすることに主眼をおき、各種の調査を実施した。特に沿岸部の一部のコンクリート橋は、早期に著しい塩害劣化が生じて建設後10数年～30数年程度で撤去に至る事例が見られることから、沿岸部のコンクリート橋とそれ以外の地域におけるコンクリート橋を分けて調査を実施することとした。本調査研究は、平成11～12年度における建設省技術研究会の指定課題の一つとして実施した。

2. 実態調査の概要

表-1に、本調査研究における各種調査の一覧を示す。

3. 沿岸部のコンクリート橋の現状

3.1 塩害対策指針(案)²⁾以前に建設されたコンクリート橋の建設から撤去までの総費用

沿岸部で塩害対策指針(案)以前に建設されたコンクリート橋のうち、特に塩分環境の厳しい箇所に架けられていた橋では、著しい塩害劣化に対する各種の補修・補強など多大な維持管理の負担を伴いながら、現在も供用されているものが多

く、中には補修後の劣化の程度が著しく架け替えられたものもある。本調査では、そのうち、特に厳しい塩害劣化が生じていたと考えられるコンクリート橋4橋を例として、それぞれの実際に要した初期建設費、維持管理費、撤去費を整理した。

表-2に対象橋梁の概要と各コストの集計結果を示す。対象橋梁は、いずれも、建設後10～15年程度で既に著しい塩害劣化を受けていたとともに、完成後20～30数年で1～2回の大規模な補修・補強が実施されていた。その後の調査・補修・補強等に要した維持管理費は初期建設費の0.5～1.2倍であり、初期建設費を超えているものも見られた。

3.2 塩害対策を施したコンクリート橋の現状

1984年に塩害対策指針(案)が通達されてから10数年が経過し、これを適用したコンクリート橋の数も増加しているものと考えられるが、その数は明確でない。また、かぶり増、塗装鉄筋、コンクリート塗装等の各種塩害対策の選択ができる中で、実際にそれぞれどの程度採用されているかも明らかでなかった。今後、長寿命化の検討を行う上で、これらの塩害対策の事例数とその効果及び初期コストの増分を把握しておく必要がある。一般には、これらの対策によって、従来のコンクリート橋よりも耐久性が向上していると考えており、塩害対策指針(案)以前の橋のようにわずか10数年で損傷等が生じているものは少ないであろうが、この時点で既に何らかの腐食の兆候が現れているのであれば重大な問題となるので、現時点で一度この点を調査しておくこととした。

直轄工事における調査の結果、塩害対策指針(案)により対策が講じられた橋梁は、コンクリート橋114橋、鋼橋47橋の合計161橋であった。図-1にコンクリート橋の塩害対策地域別橋数の割

表-2 塩害対策指針(案)以前に建設され、著しい塩害を受けたPC橋の建設から撤去までの総費用
(初期建設費に対する比)

橋名 (供用年数)	上部構造形式、橋長 径間数	初期建設費 I	維持管理費 M	撤去費 R ₁	総費用 I+M+R ₁	現況および主要な 補修・補強工事回数
旧暮坪陸橋 (32年)	単純PCボステンT桁、144m、 5径間	1.0	0.8	0.7	2.4	架替済み 2回
小弥太郎橋 (25年)	単純PCボステンT桁、117m、 4径間	1.0	1.2	(1.0)	2.2	供用中 2回
旧岩川大橋 (34年)	単純PCボステンT桁、337m、 9径間	1.0	0.5	—	1.5	旧橋撤去は後年 1回
旧芦川橋 (34年)	単純PCボステンT桁、35m、 1径間	1.0	1.2	2.7	4.9	架替え事業中 2回

注) 各費用は、平成12年度価格に換算した値。初期建設費は下部工事費を含む。()は見積額

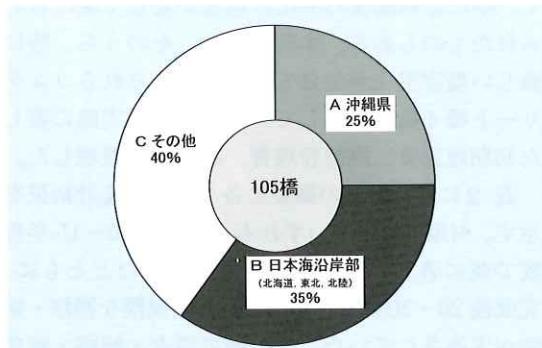


図-1 塩害対策が講じられたコンクリート橋の対策地域別内訳

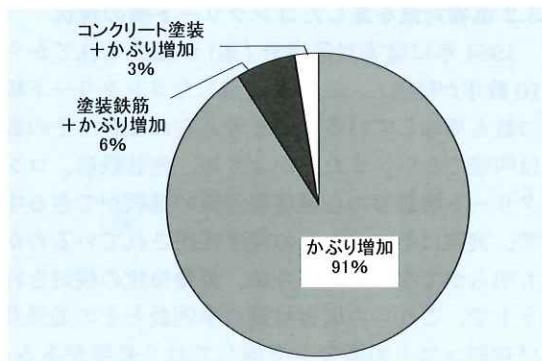


図-2 コンクリート橋における塩害対策の種類

合を示す(対策地域不明の9橋を除く)。

コンクリート橋の主な塩害対策は、図-2に示すようにかぶり増加が全体の9割を占めていた。かぶり厚は塩害対策指針(案)の最小かぶりが採用されていた。この他、かぶり増加に加えて塗装鉄筋やコンクリート塗装を用いた対策が講じられた事例があった。塗装鉄筋やコンクリート塗装はかぶり増加とともに用いられており、それぞれ単独での使用は見られなかった。なお、鋼橋の鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)への対策は全てかぶり増加であった。かぶり増加に伴う上部構造工事費の増加率は、ポストテンションT桁で1~2%程度、比較的断面の小さいプレテンションT桁で6%程度、その他の形式で0.5%以下であった。

かぶり増加による塩害対策を講じたコンクリート橋のうち、約6割に何らかの損傷が見られた(軽微な損傷も含む)。図-3にその損傷の種類と程度を示す。写真-1、2に今回の調査の中で最も悪い錆汁、鉄筋露出の例を示す。錆汁やはく離・鉄筋露出は、調査回答票に添付されていた写真から、

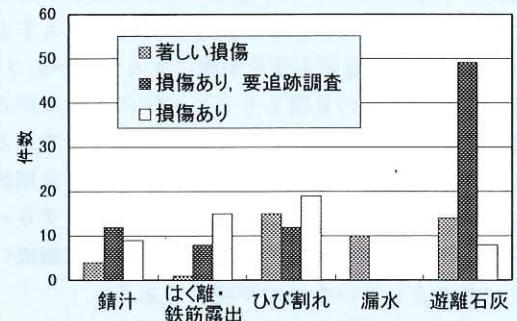


図-3 塩害対策が講じられたコンクリート橋の損傷状況
(塩害対策: かぶり増加)

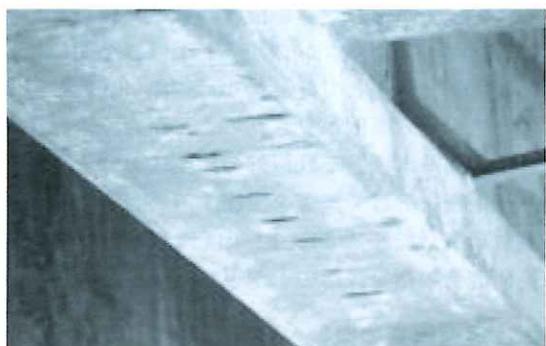


写真-1 主桁下面の錆汁(著しい損傷)
ポストテンションT桁、対策区分B-III²⁾、1986年竣工

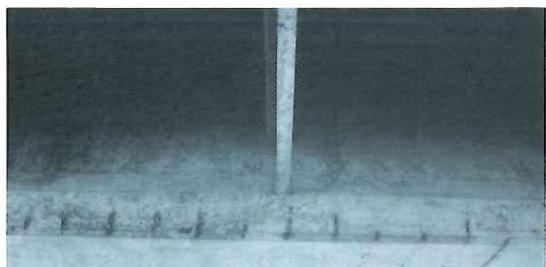


写真-2 主桁下面の鉄筋露出(著しい損傷)
(写真-1と同じ橋)

施工等に起因するかぶり不足によると考えられるものがほとんどであった。また、ひび割れは床版下面に見られたものがほとんどであり、鋼材腐食によるものは確認されていない。かぶり不足の事例を除くと、塩害対策指針(案)が適用されたコンクリート橋本体に塩害による重大な損傷は見られていない。写真が添付されていないものや、写真だけではわかりにくいものなどについては損傷の要因が明確でなく、これについて今後さらに詳細に調査していく必要がある。

3.3 塩害を受けたコンクリート橋の補修・補強の現状

1980年代、沿岸部で塩害劣化が見られたコンクリート橋を対象に、多数の補修・補強が実施された。しかし、その中には、数年後に再び塩害劣化の兆候が見られるものも出てきた(写真-3)。ここでは、塩害劣化に対する補修・補強のコスト調査とともに、補修・補強後の現状、補修前の劣化状況と再劣化の関係等について調査を行った。このうち劣化の程度については、塩害を受けて補修・補強が施された89橋の範囲で、以下の傾向が確認された。

図-4に初回補修前の損傷状況を示す。調査対象橋梁は、海岸線から50m以内のもののが多かった。調査対象橋梁の半数以上が建設後10~20年で何らかの補修・補強が行われていた。補修直前の劣化状況は、補修件数の6割が損傷度I~II(Iが最も悪い、以下、同じ)であった。

図-5に補修後の再劣化発生状況を示す。海岸線における橋梁では、再劣化しているものが多く、補修後わずか4~5年で著しい再劣化が見られたものもあった。

図-6に補修前の損傷度と再補修直前の再損傷発生状況を示す。再補修された橋の場合、再補修直前の損傷度は初回補修前の損傷度よりも悪くなってしまっており、再補修直前の損傷度はほとんどがIまたはIIとなっていた。

4. 沿岸部以外のコンクリート橋の現状

4.1 沿岸部以外のコンクリート橋の維持管理

沿岸部以外のコンクリート橋は、疲労損傷に伴う床版の補修、伸縮装置、支承の取替え、舗装の打ち替えといった鋼橋と同様の維持管理項目のほかには顕著な損傷はあまり認識されていないと考えられる。しかし、顕著な損傷でなくともLCC算定にある程度考慮しなければならない維持管理項目が見落とされていないか、今一度確認するため、沿岸部以外のコンクリート橋のうち、補修履歴をもつ39橋を抽出して、その補修内容と補修時期を調査することとした。

図-7、8に補修工の内訳をRC橋、PC橋それぞれについて示す。コンクリート橋においても、鋼橋と同様、床版工、伸縮装置工、支承工、舗装工、橋面防水工の補修事例が確認されたほか、

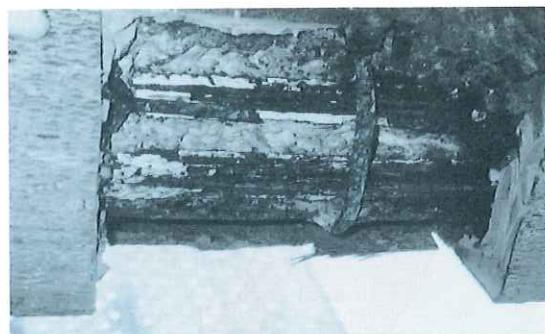


写真-3 補修部の再劣化

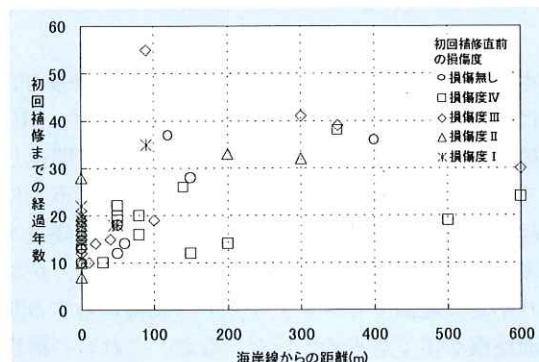


図-4 初回補修直前の劣化状況

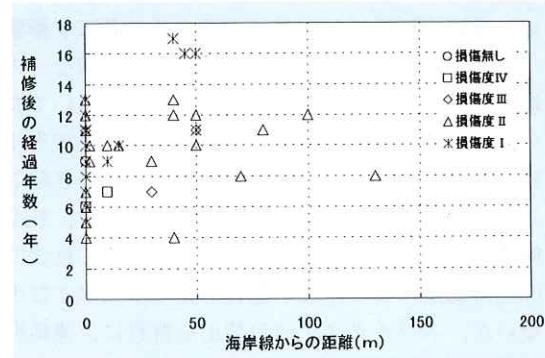


図-5 補修後の再劣化発生状況

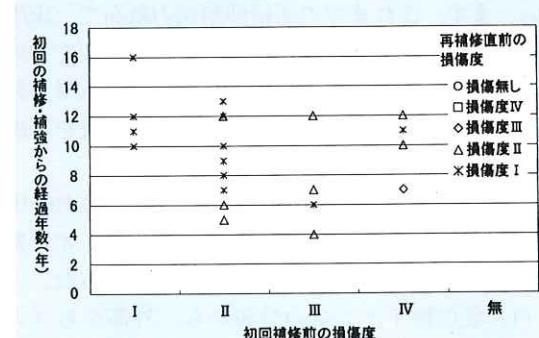


図-6 補修前の損傷度と再補修直前の再劣化発生状況

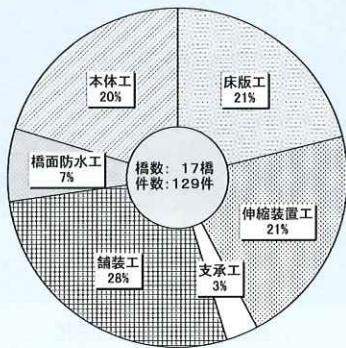


図-7 RC 橋の補修・補強件数比率

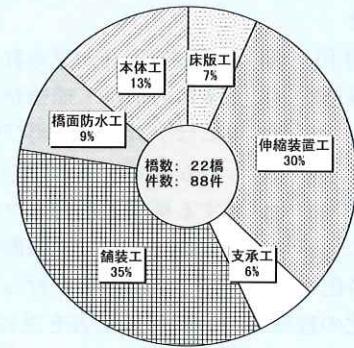


図-8 PC 橋の補修・補強件数比率

本体の補修事例も確認された。本体工の補修内容は、断面修復や樹脂注入などが多く見られた。RC 橋の補修事例では、中性化(かぶり不足と関連していると思われる)やコンクリートの充填不足に起因するコンクリートの剥落に対する断面修復が多くを占めていた。PC 橋の補修事例では、かぶり不足に起因するコンクリートの剥落に対する断面修復が多くを占めていた。なお、これらの補修事例では、建設後概ね 30 年程度で補修が実施されていた。再補修の事例は見られなかった。

4.2 凍結抑制剤が RC 床版の耐久性に及ぼす影響

欧米では、凍結抑制剤による床版や橋脚などの塩害が顕在化し、その劣化機構や対策について長い間検討されてきている³⁾。特に床版の塩害劣化の問題は、劣悪な走行性、補修のために引き起こされる渋滞、多大な補修費用などの点から、社会的問題にまで進展していた。日本では、これまで凍結抑制剤による床版の塩害劣化の事例はまだ少ないが、スパイクタイヤの禁止を背景に、凍結抑制剤の使用が極端に増加することがあれば、今後、床版の塩害が問題となる可能性もないとはいえない。まず、これまでの凍結抑制剤の散布で、床版中に蓄積されている塩化物イオン量の程度を把握することが重要であると考え、舗装や防水層の影響も考慮に入れてコア抜きによる実態調査を実施することとした。

東北地方における山間部の橋梁 20 橋の RC 床版を対象として、コア抜きによる塩化物イオン量の分布を測定した結果は次のとおりであった。

- (1) 塩化物イオン量の分布から、外部からコンクリート中への塩化物の浸入が 20 橋のうち 14 橋で認められた。これらのうち、図-9 に示した

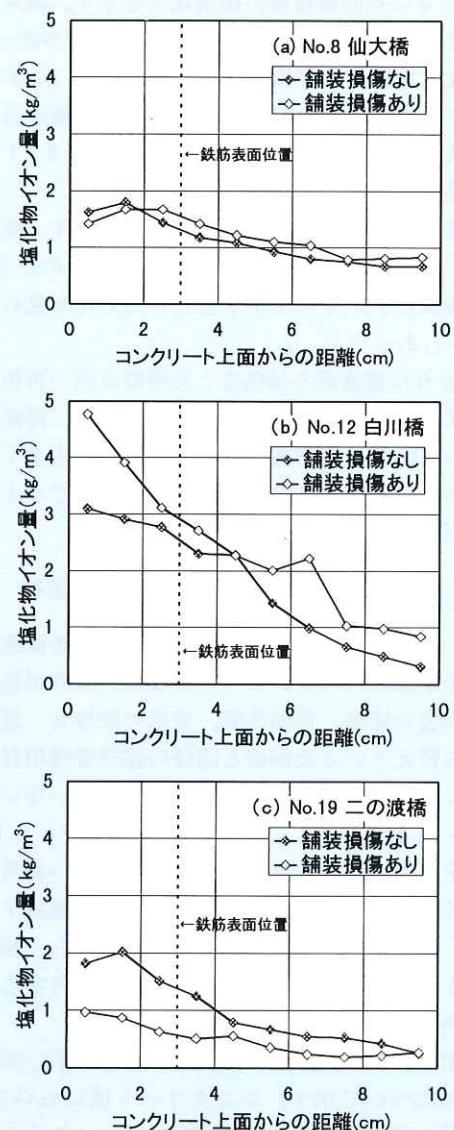


図-9 RC 床版の塩分浸透状況 (比較的塩分浸透の多い事例)

3橋は、鉄筋位置での塩化物イオン量が鋼材腐食が発生する限界値と考えられている $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ に達していた。しかし、これまでのところ、これらの床版に顕著な腐食やそれに伴うコンクリートのはく離などは見られていない。

(2) 外部から浸透したコンクリート中の塩分量と凍結抑制剤の散布量との関係はいまのところ明確でない。

(3) 床版の損傷が厳しいものほど、多量の塩分量の浸入が見られた。

(4) 防水層の効果は必ずしも明瞭ではないものの、防水層が設置されている床版の方がされていない場合よりも塩分量が少ない傾向が見られた。

(5) アスファルト舗装の厚さと外部からの塩分量の関係は明確でなかった。

5. あとがき

コンクリート橋本体(床版を除く、以下同じ)の補修費は、①塩分環境(地域、海からの距離)、②塩害対策のレベル、③施工の程度に応じて異なると考えられる。塩害対策指針(案)通達以前に海岸線上に建設されたコンクリート橋のうち、著しい塩害劣化を受けた4橋の事例では、大規模な補修がわずか20~30年の間に1~2回実施され、その1回あたりの補修費は初期建設費の1/2程度であった。もしコンクリート橋本体の補修費をLCCに見込む場合、海岸線上で、塩害対策指針(案)通達以前の方法のまま建設したとするとこの膨大な補修費を10~15年ごとに見込むことになるが、塩害対策指針(案)以降の橋は、建設後約10~15年を経過しても重大な損傷が見られていないことから、少なくともこの期間をさらに長く設定できることがわかった。

コンクリート橋の長寿命化は、確実にLCC縮減に貢献すると考えられる。今回の調査で、塩害対策地域できえかぶり不足の事例が見られたこと、沿岸部以外のコンクリート橋本体の損傷はかぶり不足によるものが多くなことから、コンクリート橋の長寿命化のためには、塩分環境の程度にかかわらず、まず施工精度の向上などによるかぶり不足の解消が不可欠であることがわかった。

今回の調査結果は、まずデータ集として土木研究所資料にとりまとめている⁴⁾。いずれの調査に

おいても、データ分析のための時間がまだ十分でなく、今後、より詳細な検討を加える予定である。これらの成果は、今後、LCC算定資料集の作成、道路橋の塩害対策の見直しなどに反映させ、コンクリート橋の長寿命化に役立てる予定である。

謝辞

本調査研究に関わる各実態調査にご協力いただいた関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 西川和廣: 橋の性能と耐久性、第一回鋼構造物の維持管理に関するシンポジウム資料集、土木学会鋼構造委員会 構造物の維持管理研究小委員会、1999.7
- 2) 道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、(社)日本道路協会、1984.2
- 3) 融雪剤によるコンクリート構造物の劣化に関する研究委員会報告、日本コンクリート工学協会、1999.11
- 4) 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一、土木研究所資料第3811号、2001.3