

塩害で劣化した既設ボックスカルバートの調査設計について

新垣健二、泉水雄太

株式会社 沖縄建設技研（〒901-2126 沖縄県浦添市宮城三丁目7番5-103号）

キーワード：老朽化、維持管理、塩害、LCC、施工計画

1. はじめに

国土交通省によると、高度経済成長期(昭和30年代～昭和48年)以降に整備されたインフラが急速に老朽化し、今後の20年間で、建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる見込みである。「2014年国土交通白書」および「国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画)」に示される建設後50年以上経過する社会資本の割合は、表-1のとおりである。

表-1 建設後50年以上経過する社会資本の割合

施設	2013年3月	2023年3月	2033年3月
道路橋	18%	43%	67%
トンネル	20%	34%	50%
河川管理施設	25%	43%	64%
下水道管きよ	2%	9%	24%
港湾岸壁	8%	32%	58%
海岸保全施設	10%	31%	53%

国や沖縄県においては、各種の「維持管理マニュアル」を制定し、これに基づく点検や健全度評価による維持管理計画書の策定が進められている。

ここでは、建設後約30年を経過した既設ボックスカルバート(以下「対象構造物」という)の劣化状況調査を考慮した設計事例について報告する。

2. 現地状況

対象構造物の左右は階段式護岸が連続し、周辺には学校や民家が隣接する。護岸の水叩きは、学生のマラソンコースや住民の散歩コースとして利用されているほか、管理用道路して軽車両が通行する場合もある。そのため、対象構造物を含む護岸の利用性は高く、今後も安全に利用できるよう整備する必要がある。写真-1は対象構造物の全景、写真-2は近景および頂版に発生したひび割れ状況を示す。



写真-1 対象構造物全景



写真-2 対象構造物近景およびひび割れ状況

3. 調査概要

ボックスカルバート劣化状況を把握するため、現地詳細調査および室内試験を行った。

3.1 現地詳細調査

対象構造物の形状及び外観上の損傷状況を把握する目的で以下に示す調査を行った。

(1) 目視・打音調査結果

コンクリート表面に顕在化した損傷の状況やコンクリート構造物全体の变形状況等を把握する目的で行った。

調査の結果、図-1に示すようにひび割れ、浮き・剥離、遊離石灰、漏水等の損傷が確認された。全体的にひび割れや浮きが確認され、「側壁」の外観上のグレードはⅢ、全体の2/3程度にうきが確認された「頂版下面」はⅣと判定した。

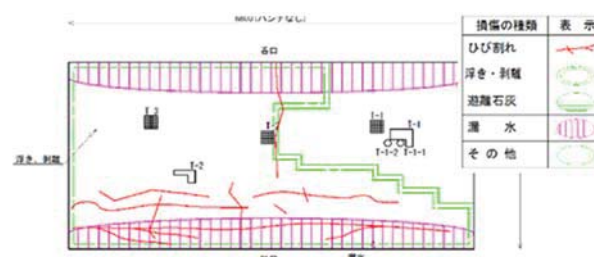


図-1 頂版(下面)の損傷状況

(2) 反発度試験結果

コンクリート表面をシュミットハンマーによって打撃し、その反発度から圧縮強度を把握する目的で行った。

本試験は、図-2に示す全7箇所(側壁4箇所、頂版3箇所)で実施した。推定圧縮強度は19~24N/mm²の範囲に

あり、側壁の1部を除く全ての部材で設計基準強度(24N/mm²)を下回っている。

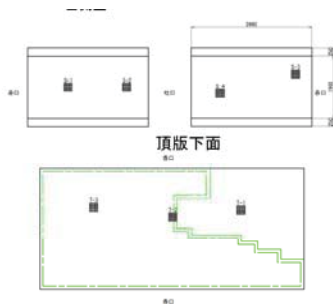


図-2 反発度試験位置図

(3) 鉄筋腐食状況調査結果

鉄筋腐食状況調査は、鋼材腐食度および配筋状況を把握する目的で行った。本調査は左側側壁(1箇所)及び頂版下面(2箇所)実施した。

調査によって把握した腐食の程度は各部材とも鉄筋に断面欠損が生じ、腐食グレードはいずれも「IV」と判定した。特に頂版の一部においては層状の錆(写真-3参照)が発生し、著しい断面欠損が生じ、「IV以上」と判定した。



写真-3 頂版下面の鉄筋腐食状況

3.2 室内試験

現地で採取されたコアを用いてコンクリートの圧縮強度、中性化および塩分含有量試験を行った。採取したコアは、頂版で2個、側壁で2個、計4個である。

(1) 圧縮強度試験結果

採取したコアに一樣に荷重を加え、コンクリートの圧縮強度を把握するために行った。

本試験は、左側側壁および頂版下面における2箇所を実施した。左側側壁において設計強度を下回っているが、頂版下面においては設計強度を上回っている。目視・打音調査や鉄筋腐食状況調査においては、外観上のグレードは「IV」に判定されていることから、設計基準強度を上回った値は局部的と考え、頂版下面全体としては設計基準強度を下回っているものと判断した。

(2) 中性化試験結果

採取したコアの表面に、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、赤紫を呈する部分を未中性化部、着色しない部分を中性化部として、コンクリート表面から中性化深さを把握するために行った。

本試験結果より各部材の中性化深さは、12.2~30.3mm、判定かぶり深さは65~83mmの範囲にある。図-3に示す

ように各部材の中性化深さは、判定かぶり深さの範囲内にあり、中性化による鉄筋の腐食は発生していないと判断した。

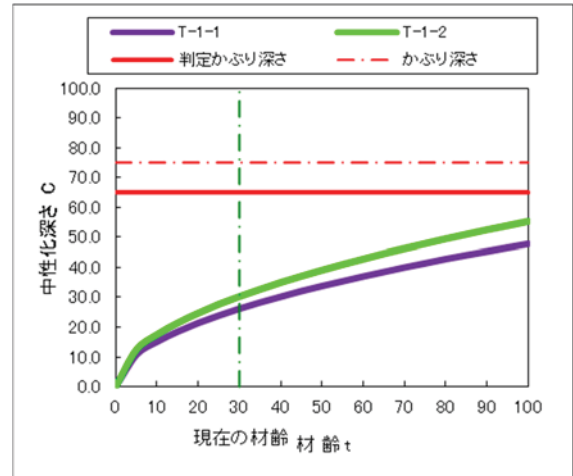


図-3 中性化試験結果

(3) 塩分含有量試験結果

コンクリート中に含まれる塩化物イオンの浸透状況を把握するために行った。

塩分含有量試験は採取したコア試料を深さ方向に切断、粉碎、調整を行った後に電位差滴定法による全塩分量を測定する方法である。

本試験結果より各部材の鉄筋かぶり深さにおける塩化物イオン量はおよそ3~5kg/m³の範囲にあり、腐食発生限界とされる1.2kg/m³を大きく超えている状況にある。鉄筋腐食状況調査結果における腐食グレード「IV以上」を裏付ける結果と考える。

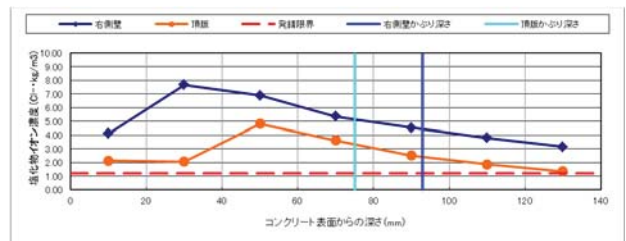


図-4 コンクリート表面から深さと塩化物イオン量

3.3 対象構造物の耐久性評価

3.1~3.2の各種試験結果から、かぶりコンクリート剥離、鉄筋腐食等の構造物の劣化主原因は、「塩害」によるものと推定される。吐口部(海側)が特に劣化が進行していることから、飛来塩分の影響が大きいと考えられる。ここでは、塩害としての耐久性評価を行う。

対象構造物の外観上のグレードは、ひび割れや鉄筋の断面欠損が生じているため表-2より「グレードIV(劣化期)」と評価される。

表-2 外観上のグレードと劣化の状態

解説 表 6.3.3 塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態		
構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードI	潜伏期	外観上の劣化が見られない。腐食発生限界塩化物イオン濃度以下
グレードII	進展期	外観上の劣化が見られない。腐食発生限界塩化物イオン濃度以上、腐食が開始
グレードIII-1	加速期前期	腐食ひび割れや浮きが発生、さびが見られる
グレードIII-2	加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが増大し、多数発生。腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる。鋼材の著しい断面減少は見られない
グレードIV	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる。鋼材の著しい断面減少が見られる。変位・たわみが大きい

「グレードIV(劣化期)」においては、安全性、使用性、第三者影響度および美観・景観に対しての性能が低下していると判断される。

グレードIV(劣化期)における対策工としては、表-3より「補修」、「供用制限」及び「解体・撤去」が選定される。次章において対策工の比較検討を行う。

表-3 構造物の外観グレード、劣化過程と対策の例

構造物の外観上のグレード	劣化過程	点検強化	補修	供用制限	解体・撤去
グレードI	潜伏期	○	○**		
グレードII	進展期	○	○		
グレードIII-I	加速期前期	◎	◎		
グレードIII-2	加速期後期	◎	◎*	○	
グレードIV	劣化期	◎	◎*	◎	◎

◎：標準的な対策 (◎*：力学的な性能の回復を含む)
○：場合によっては考えられる対策 (○*：力学的な性能の回復を含む)、○**：予防的に実施される対策

4. 対策工の比較検討

対象構造物における対策工の比較検討を行った。対策工はケース1：補修案、ケース2：補修+頂版架け替え案、ケース3：新設案の3ケースとした。表-4に示すようにライフサイクルコスト(LCC)を考慮して比較検討を行った。

表-4 ライフサイクルコスト(LCC)の比較検討

ケース	補修面積等数量	備考
ケース1 (補修)		
初回補修	頂版=B7.3m×L3.66m=26.7m ² 側壁=H2.25m×L3.66m×2=16.5m ² 合計=26.7+16.5=44m ²	初回のみ頂版のそえ筋を行う。
再補修 (20年後)	頂版=B7.3m×L3.66m=26.7m ² 側壁=H2.25m×L3.66m×2=16.5m ² 底版=B7.3m×L3.66m=26.7m ² 合計=26.7+16.5+26.7=79.9m ²	頂版のそえ筋は行わない。
2回目以降の補修	頂版=B7.3m×L3.66m=26.7m ² 側壁=H2.25m×L3.66m×2=16.5m ² 合計=26.7+16.5=44m ²	頂版のそえ筋は行わない。
ケース2 (補修+頂版架け替え)		
初回補修	側壁=H2.25m×L3.66m×2=16.5m ²	側壁のみ補修
再補修 (20年後)	側壁=H2.25m×L3.66m×2=16.5m ² 底版=B7.3m×L3.66m=26.7m ² 合計=16.5+26.7=44m ²	側壁+底版補修
2回目以降の補修	側壁=H2.25m×L3.66m×2=16.5m ²	側壁のみ補修
頂版架け替え	頂版 (8.0m×0.4m+0.25m×2+0.25m×0.25m)×3.66m=119.2m ²	側壁ハンチ下でコンクリートを打ち継ぐ
ケース3 (新設 現場打ちボックスカルバート)		
新設	R C構造物 (内空7.3m×2.4m、延長3.66m)	

各工法の概要は、次のとおりである。

4.1 ケース1：補修案

ケース1の補修案は、初回の補修は、断面修復(頂版、側壁)とし、再補修では、断面修復(頂版、側壁)に加え断面修復(底版)を行う、底版コンクリートは、頂版、側壁コンクリートに比べて健全であるものの、20年後には建設後50年経過する。対象構造物は、干満の影響を受ける箇所であり、環境条件は塩害・腐食環境下である。

4.2 ケース2：補修+頂版架け替え案

ケース2の補修+頂版架け替え案は、損傷の一番大きな頂版部分を架け替え、側壁や底版部分の補修を行う案である。

4.3 ケース3：新設案

ケース3の新設案は、対象構造物を取壊し、プレキャスト及び現場打ちにて新設する案である。

補修時期及び補修サイクルは、表-5に示す「沖縄県橋梁維持管理マニュアル(案)」を参考に決定した。これまで維持管理を実施していないことから事後保全型とし、補修時期及び補修サイクルを図-5に示す。再補修は、初回の補修から20年後とし、2回目以降の補修時期は15年サイクルとする。例えば、今後の供用年数を50年とする場合、補修回数は3回(20+15+15=50)となる。

表-5 補修時期および補修サイクル

補修時	到達年数 (補修サイクル)	備考
初回補修時	b1=30年	昭和62年頃竣工
再補修時	b2=b1×0.7=30×0.7=21年	1回目の補修での耐用年数
2回目再補修時	b3=b2×0.7=21×0.7=15年	2回目以降の補修での耐用年数

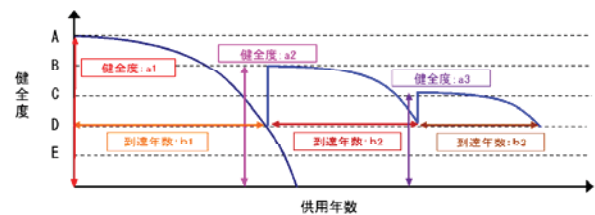


図-5 健全度と次回補修までの期間の考え方

4.4 比較検討結果のまとめ

(1) ケース1：補修案

初期費用は、3案中2番目であるものの、LCCは、20年以降は最大となる。また、50年後は取壊しとなる。

(2) ケース2：補修+頂版架け替え案

初期費用は最小であるが、LCCは20年後には第3案より大きくなる。50年後には取壊しとなる。

(3) ケース3：新設案

初期費用は3案中最大である。LCCは20年後には最小となる。50年後には予防保全を目的とし、補修によりさらに構造物の耐久性を向上させることができる。

上記を比較検討した結果、LCCが最少となるケース3新設案を採用とした。図-6にケース1~3のLCCを踏まえた概算金額を示す。

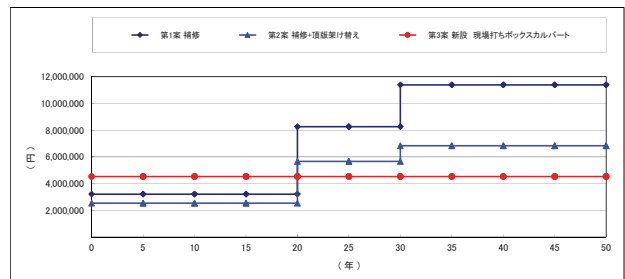


図-6 LCC 検討結果

5. 施工計画の課題・解決策

対象箇所は、河川と海岸とつなぐ位置にあり、施工時には、仮設排水路を設けることとなる。そのため、海岸護岸と河川護岸の一部を取壊す必要があり、施工の影響範囲が広がる懸念があった。そこで、護岸の取壊しを最小限におさえた排水処理を行う必要があった。

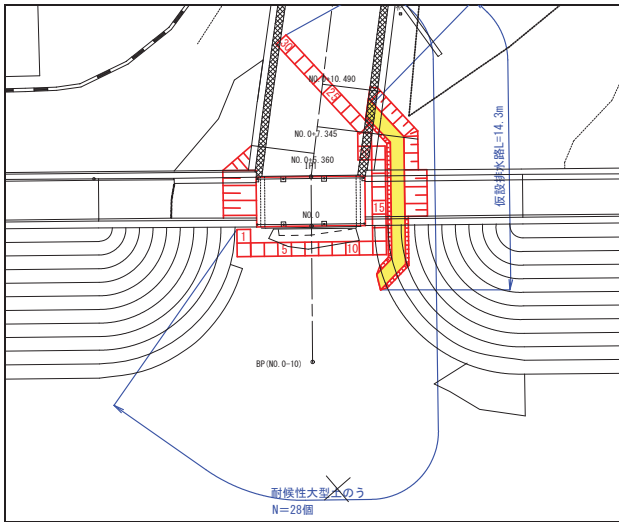


図-7 施工計画

施工時の排水計画として、①上流側からの水量が少ない、②満潮時の潮位が低い(底版から50cm程度)であることから、図-8に示す大型土のうによる仮締切を行い、ポンプ排水による計画として取壊しを最小限におさえた。

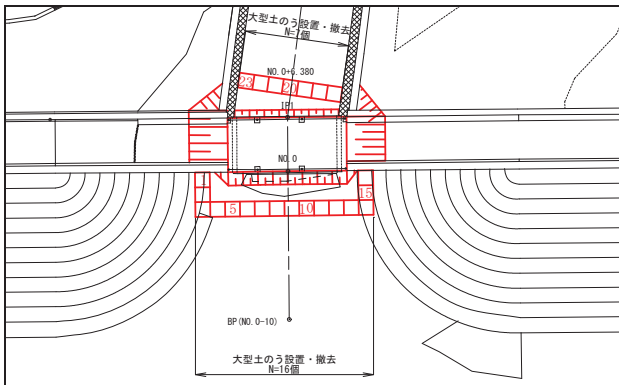


図-8 影響範囲を最小限にした施工計画

6. 施工時に発生した問題・対応策

対象構造物の撤去後、基礎部に既設のコンクリート杭φ350、5本×2列(以下「既設杭」という)が確認された。設計時には直接基礎と想定していたが、既設杭を考慮した杭頭処理の検討が必要となった。



写真-4 コンクリート杭露出状況

杭頭処理にあたって、①新設ボックスは既設ボックスと寸法・重量がほぼ同様であること、②既設ボックス

の底版に沈下・変形が見られないことから、基礎地盤の支持力は確保されていると判断し、既設杭は流用する計画とした。通常、現場打ちボックスカルバートにおける杭基礎の場合には、図-9に示すように杭頭部をカルバート内、プレキャストの場合は、基礎コンクリート内に50mm程度埋め込む必要がある。

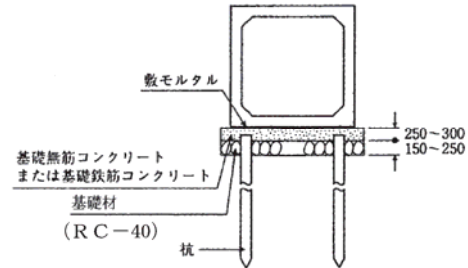


図-9 杭頭部埋め込み例

しかし、底版下面の計画高さと同既設杭の杭頭部高さにズレがあることから、均しコンクリート厚を100mmから300mmに変更し、その中で杭頭部の処理を行い、施工上の問題点の対応を図った。

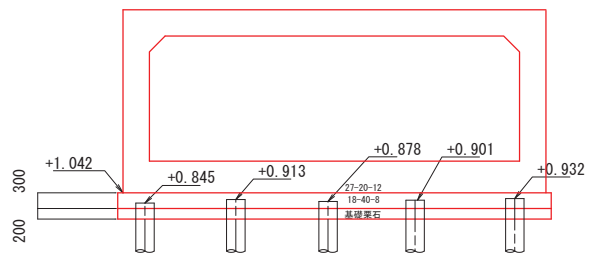


図-10 実際の杭頭処理

7. おわりに

対策工は、初期費用は最大であるが、LCCが最小となる新設案を採用した。国土交通省の「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方についての答申」によると、“戦略的な維持管理・更新に関する基本的な考え方”の一つとして、『予防保全的管理を基本としたライフサイクルコストが最小となる効率的な維持管理・更新の実施』が求められている。今後の業務への適用が必要と考える。

施工時にコンクリート杭が確認され、対象構造物が杭基礎であることが判明した。現地調査では、対象構造物と連続する護岸には、沈下や段差等の変状は無かった。また、対象構造物自体の沈下も無く、良質な支持地盤と判断し、直接基礎と想定していた。今回の施工結果を受け、構造物設計における基礎地盤調査の重要性を再確認された。

参考文献

- 1) コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-(平成25年5月)
- 2) 道路橋示方書・同解説(平成24年3月)
- 3) 道路土工 カルバート工指針(平成22年3月)
- 4) 土木工事設計要領 第1・第2編(平成24年8月)