

高強度プレキャストコンクリート版による 耐摩耗補修工法の紹介

半田 仁・高橋 博・下條 淳吉

株式会社 新東洋技術コンサルタント

1. はじめに

近年、農業水利施設の更新の必要性から「改修や補修技術」に対する関係者の取り組みがクローズアップされてきている。

これらの技術は、22兆円（平成7年）の資産額ともいわれる農業水利施設の機能維持に不可欠のもので、食料・農業・農村基本法の基本理念である①食料の安定供給の確保②多面的機能の発揮③農業の持続的な発展④農村の振興などの実現に向け大きく貢献するものと認識している。

農業水利施設には、ダム、頭首工などの河川工作物や受益地に送水、配水を目的とした水路等がある。これらの施設は、耐用年数の異なるコンクリート、鋼材その他諸材料等で構成され、所定の機能を発揮しているといえる。

この中で、コンクリート構造物は、耐用年数が50年以上と長く耐久性に富み安全性や経済性の点でも有利なことから主要部に多用され、豊富な実績を有することは周知のとおりである。

しかしながらコンクリート水利構造物は、急峻な山岳部に建設されるダムや急流河川での頭首工、平野部に至る落差工、急流工とそれぞれ異なる環境条件下に設置され使用しているため経年時の老朽化、劣化の程度に差が生じているのが実態である。

これらコンクリート水利構造物の機能回復を図るための技術として、新設とは異なる視点で、適切な劣化調査や老朽化診断に基づく、環境に配慮した新しい改修・補修工法が求められている。

当社では、このような要請に対応するためコンクリート水利構造物の補修、設計、施工技術の向上と農業農村整備事業におけるライフサイクルコスト縮減の一助として、技術開発に取り組んでいる。

ここでは、頭首工等に代表されるコンクリート水利構造物の補修用に開発した「高強度プレキャストコンクリート版による耐摩耗補修工法」について紹介するものである。

2. 本技術の概要

本工法は、コンクリート水利構造物の補修工法で、高強度プレキャストコンクリート版（以下、コンクリート版と略記する）を使用することにより劣化部の保護対策を容易にしたものである。

コンクリート版（標準規格1m×2m）は、圧縮強度100 N/mm²の高強度コンクリートで製作しており、耐摩耗性や耐衝撃性の点で優れた特性を有している。

又、二次製品のため冬期施工や、経済性についても従来工法（現場打ち）に比べ有利な点が多い。

本コンクリート版とコンクリート水利構造物本体との空隙部には、グラウトを充填し、密着させるが、同時に付着防止層を設けているため、補修時の交換も容易で、摩耗の少ない版を転用することも可能である。

さらにコンクリート版の内部には、摩耗検知プレートを埋め込んでおり、摩耗の進行による版の交換時期を目視により容易に確認することができる。

尚、本工法は、老朽化や劣化の程度によっては、従来工法と組み合わせ使用することも考えられる。

3. コンクリート水利構造物の劣化について

コンクリート水利構造物は、耐用年数が長いものの長期間に渡り使用していると経年的な老朽化や部分的な劣化が進行することになる。

老朽化の要因としては、コンクリートの特性のほか配合、施工、設置環境、使用状況及び維持管理等があげられ、これらが複雑に関係しているといえる。

特に急流河川に設置される頭首工では、耐久性に配慮されている堰体やエプロン部の表面が土砂流により激しく損耗される場合もある（写真-1）。

エプロン表面の主な損耗原因としては、流水によって運搬される砂礫によるすり磨き、衝撃力及びキャビテーション等の繰り返し作用によるものである。

これらの外的作用により、エプロン表面は、モルタルの損失、粗骨材の露出、粗骨材の破壊、抜け出しへと劣化が進行することになる。

現在のところコンクリートの劣化に対する体系的な補修技術としては確立されていないが、頭首工の所定の機



(写真-1) 某頭首工エプロン部の摩耗状況

能維持や長寿命化のためには、一層の創意工夫が必要と考えている。

4. 従来の補修工法

(1) 現行基準の考え方

コンクリート水利構造物の耐摩耗補修に関しては、現行基準「土地改良事業計画設計基準「頭首工」」技術書の中に、「コンクリート表面に耐摩耗層を造る方法」についての記述がある。各工法とその特徴は、次のとおりである。

1) 石張工法

従来から切石張、間知石張、野面石張りなどで、下地コンクリートに被覆するもので、耐衝撃性、耐摩耗性とも優れている。

2) 鋼板張工法

鋼板を下地コンクリートにアンカーボルトで固定して、鋼板の周囲を溶接する方法で、耐衝撃性、耐摩耗性に効果がある。

3) エポキシ樹脂モルタル工法

エポキシ樹脂と珪砂を練り合わせたものを下地コンクリートに被覆するもので、耐摩耗性がある。

4) 弾性版工法

ポリウレタン系の弾性版を下地コンクリートにアンカーボルト等で固定するもので、弾性版による衝撃吸収効果が大きく、特に耐衝撃性、耐摩耗性に優れている。

5) 鋳鋼板工法

耐摩耗性の鋳鋼板を下地コンクリートにアンカーボルトで固定するもので、耐衝撃性、耐摩耗性に優れている。

6) レジンコンクリート工法

本工法は、前述した「土地改良事業計画設計基準「頭首工」」に記述がない工法ではあるが、最近施工実績も増えつつある工法である。本工法は、レジンコンクリ

トを下地コンクリートに直接打設するもので、耐衝撃性、耐摩耗性に優れている。

(2) 従来工法とその課題

前述した従来工法の課題をあげれば、次のとおりである。

1) 石張工法

切石、間知石及び野面石と下地コンクリートからの剥離が課題である。又、近年、良質の石材の入手が困難であり、熟練石工も不足している。

2) 鋼板張工法

温度応力のため、鋼板と下地コンクリートが剥離したり、又、玉石や転石の衝撃のため鋼板が波状となり、凸部が予想以上に大きく摩耗する傾向がある。又、施工は溶接作業が多く容易ではないとともに、隣り合って敷設した鋼板相互間に段差が生じ、キャビテーションによる前述段差部の損耗が著しい課題もある。さらに景観的な課題もある。

3) エポキシ樹脂モルタル工法

下地コンクリートからの剥離が課題であり、又、モルタル層が薄いこともあって効果は少ない。

4) 弾性版工法

下地コンクリートとの密着性に難点があり、下地コンクリートと弾性版の隙間に土砂流が流れ込み、弾性版が剥離してしまう恐れがある。又、施工が容易でないし、工費が高むという課題もある。

5) 鋳鋼板工法

鋼板張工法と同様の課題がある。

6) レジンコンクリート工法

下地コンクリートの乾燥と、下地コンクリートに打設したレジンコンクリートの養生等に日数を要することなど、施工性は良くない。又、再補修時に生じたレジンコンクリートは再利用することができないので経済的損失が大きいし、産業廃棄物となってその処理においても課題がある。積雪地域での施工にあたっては、コンクリート打設のような容易さはない。

5. 本工法の構造と特徴

(1) 構造

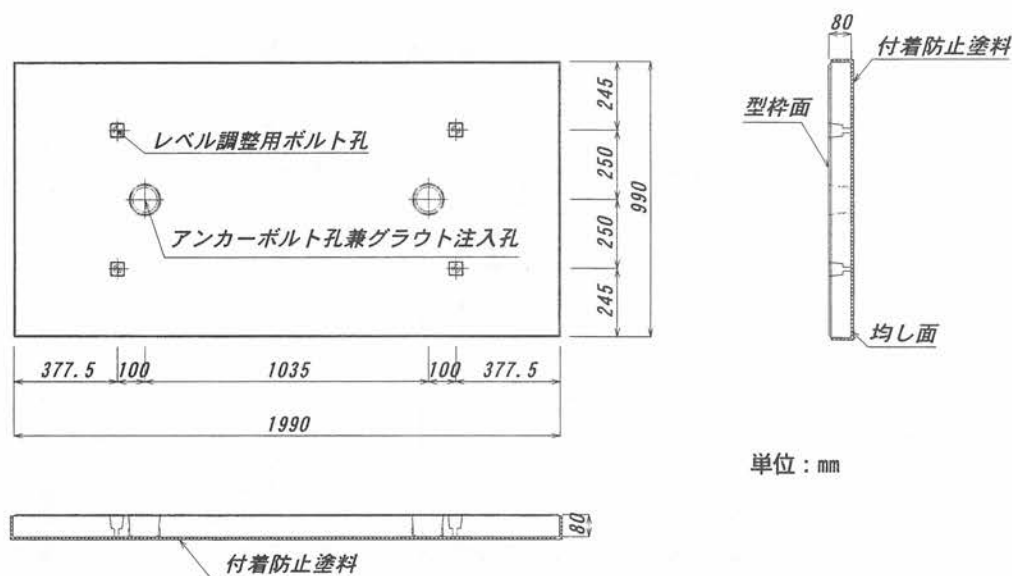
1) コンクリート版の形状と材質

(図-1)は、コンクリート版の標準品の例であり、形状は990×1990×80mmの平面的に横長方形の版状体のものである。

材質は、コンクリート用混和材を混入した圧縮強度の高いコンクリート、W/C(水セメント比)を小さくして強度を上げたコンクリートなどである。

2) 付着防止層

コンクリート版の下面(裏面)には、グラウト材と付



単位：mm

(図-1) コンクリート版の概略図

着しない塗料の塗布層である付着防止層を設置している。

3) アンカーボルト

コンクリート版を下地コンクリートに固定するため、アンカーボルトを設置している。アンカーボルト設置後は、コンクリート版の裏面側にグラウトを充填した後に、アンカーボルト上部（摩耗代分）には、コンクリート版と同等の耐摩耗性を有する充填材を施工する。

4) レベル調整用ボルト

コンクリート版を下地コンクリートに設置する場合、コンクリート版間に段差が生じる場合が多いので、レベル調整用ボルトを設置した。レベル調整用ボルト上部にも、コンクリート版と同等の耐摩耗性を有する充填材を施工する。

5) 摩耗検知プレート

図示はしていないが、コンクリート版の内部には、設計摩耗代の位置に、コンクリート色と異なる色調の摩耗検知プレートを埋設している。

(2) 特徴

1) 優れた耐衝撃性、耐摩耗性

工場製なので現場打ちコンクリートに較べて、硬練りの高強度コンクリートの打設が容易であり、耐衝撃性、耐摩耗性に優れている。

2) 優れたコストパフォーマンス

コンクリート版は、他の素材（レジンコンクリート、弾性版、銅板等）に較べて、コストパフォーマンスに優れている。

3) レベル調整が容易

レベル調整用ボルトで据付高を調整するので、微妙なレベル調整が容易であり、コンクリート版同士の段差もほとんどなくなるので、キャピテーションが抑えられる。

4) 施工が早い

工場製品であるため、現地での養生が不要であると共に、アンカーボルトで容易に施工できるので供用開始が早くでき、工期の短縮に繋がる。

5) 取替え時期が明瞭

設計摩耗代の位置にコンクリート色と色調が異なる摩耗検知プレートを埋め込んでおくので、取り替え時期が明瞭である。

6) 再利用が可能

底版に付着防止層を設けており、グラウト充填材と縁切りになるため、ボルトを外せばコンクリート版を容易に取外すことができ、再利用も可能となる。

7) 効果的な維持管理

1ピース990×990mmのブロックになっているため、摩耗量が大きい部分のみ交換することが可能となり、効果的な維持管理ができる。

(3) 他工法との比較

他工法との比較は、(表-1)のとおりである。

(附 1) 従来工法と本工法における特徴の比較

項目	高強度プレキャストコンクリート版工法 (エプロンガード)	現場打設レジンコンクリート工法	弾性版工法	鋼板張工法(SUS)	鑄鋼板工法	石張工法	
工法の概要	高強度コンクリートのプレキャスト版を下地コンクリートにアンカーボルト等で固定する。	結合材として、樹脂を使用し骨材を結合させたコンクリートで、プライマーを介して下地コンクリートに直接打設する。	合成ゴムに鉄板を埋め込んだ弾性版を下地コンクリートにアンカーボルト等で固定する。	鋼板(SUS)を下地コンクリートにアンカーボルト等で固定する。	特殊鑄鋼板を下地コンクリートにアンカーボルト等で固定する。	花崗岩、安山岩等を切り出し加工したものを張り合わせる一般工法である。	
耐衝撃摩耗性	圧縮強度は約 100 N/mm ² 。耐衝撃摩耗性は、使用材料により普通コンクリートの約 1.7 倍優れている。	圧縮強度 : 40 ~ 80 N/mm ² 。耐衝撃摩耗性は、普通コンクリートの 2 倍以上優れている。	耐衝撃摩耗性は、普通コンクリートの 100 倍以上優れている。	耐衝撃摩耗性は、普通コンクリートの 10 倍以上優れている。	耐衝撃摩耗性は、普通コンクリートの少なくとも 100 倍以上優れている。	耐衝撃摩耗性は、石張全体としては、普通コンクリートの 2 倍以上優れている。	
施工性	アンカーボルト締めめの箇所は少なく、作業が簡単で熟練を必要としない。重機による据付になる。	下地コンクリートの乾燥がポイントになり、作業は重機を必要としないが、施工は難しい。冬期施工の場合、ドームが必要になる。	アンカーボルト締めめの箇所は多いが、作業が簡単で熟練を必要としない。重機による据付になる。	アンカー及び周囲の被覆・固定が必要であることや溶接作業が多いことにより施工性は良くない。	アンカーユニットを工場で組立て、運搬することにより施工性を向上させている。人力据付も可能であるが、計画より 30cm 下がりのハツリが必要になる。	アンカーユニットと石材相互の接合に注意を要す。また、良質の石材が入り手困難であり、熟練石工が不足している。	下地コンクリートと石材相互の接合に注意を要す。また、良質の石材が入り手困難であり、熟練石工が不足している。
保守・管理	損傷ユニットの取り替えは、交換型を採用すれば簡単に行える。	部分補修する場合は、下地コンクリートを乾燥させて剥離した場所に比較的容易に施工することができる。	損傷ユニットの取り替えは、比較的簡単に行える。	温度応力のため鋼板と下地コンクリートとが離れたり、また玉石、転石の衝撃のため鋼板が液状となり、局部的に摩耗する傾向がある。	アンカーユニットと特殊鑄鋼板を一体化してボルトのナットは施工時に切断しているのことで、部分補修が困難である。	抜け石があると破損が急激に進行し、全体に拡大する恐れがあるため、早急に補修する必要がある。	抜け石があると破損が急激に進行し、全体に拡大する恐れがあるため、早急に補修する必要がある。
経済性 (参考) 直工、ハツリ含まず	3.5 万円/m ²	7.2 万円/m ² (=30mm の場合)	23 万円/m ²	25 万円/m ² (=22mm の場合)	30 万円/m ² (コンクリート充填部の費用別)	22 万円/m ² (=300mm の場合)	
総合評価	耐衝撃摩耗性は、普通コンクリートの約 1.7 倍優れており、施工性・保守・管理及び経済性で優れている。	耐衝撃摩耗性は、普通コンクリートの約 2 倍優れており、施工性・保守・管理及び経済性で若干劣る。	耐衝撃摩耗性に優れており、施工性及び保守・管理に優れているが経済性で劣る。	耐衝撃摩耗性は比較的優れているが、経済性・施工性・保守・管理で劣る。又、景観にいいとはいえない。	耐衝撃摩耗性は非常に優れているが、経済性で劣りアンカーユニットの必要厚が 30cm となるため、鉄筋構造物の補修には適さない。	耐衝撃摩耗性は非常に優れているが、経済性で劣り、また、t=30cm のため鉄筋構造物の補修には適さない。	経済性、施工性及び保守・管理で劣り、また、t=30cm のため鉄筋構造物の補修には適さない。

6. コンクリート製耐摩耗版の性能

本試験では、本工法への適用を考慮した高強度コンクリート (HSC)、土木分野で汎用されている普通コンクリート (NSC) 及びレジンコンクリート (RESIN) の3ケースを対象とし、それらの強度特性と摩耗特性を評価した。

(1) コンクリートの特徴

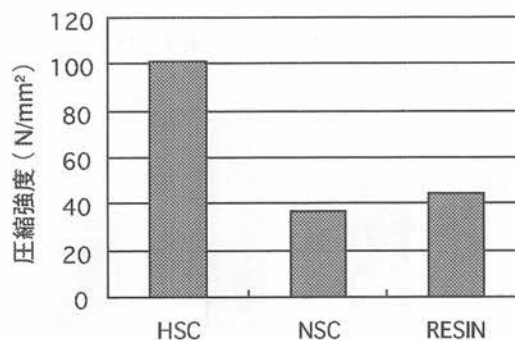
本試験で作製したコンクリートの特徴を (表-2) に示す。

(2) 試験項目及び試験方法

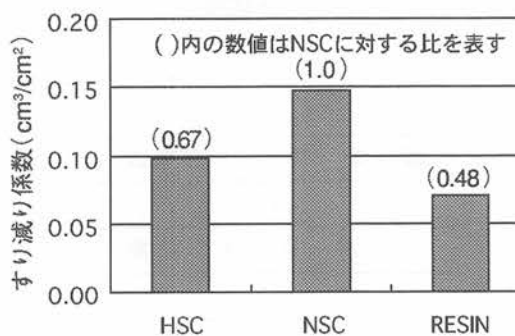
試験項目及び試験方法を (表-3) に示す。なお、サンドブラスト試験による摩耗量は、摩耗体積を遮蔽版の孔の面積で除した“すりへり係数 (cm^3/cm^2)”として評価した。鋼球落下試験による摩耗量は、試験前後の質量減少分を供試体の単位容積質量で除した“衝撃摩耗量 (cm^3)”として評価した。

(3) 試験結果

各種コンクリートにおける圧縮強度、すり減り係数、そして衝撃摩耗量を (図-2)、(図-3) 及び (図-4)



(図-2) 各種コンクリートの圧縮強度



(図-3) 各種コンクリートのすり減り係数 (サンドブラスト試験)

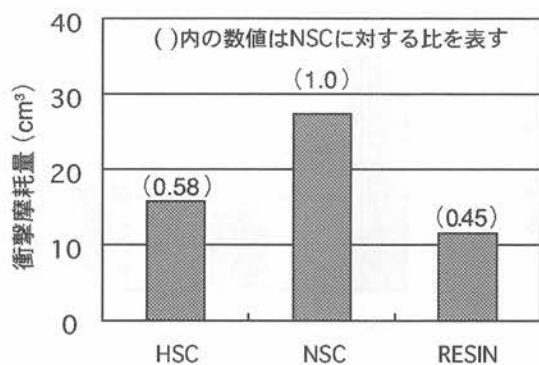
(表-2) 試験の対象としたコンクリートの特徴

供試体種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	W/C (%)	スランプ (cm)	仕様
HSC	20	30	8±2.5	単位水量：150kg/m ³ 、コンクリート用混和材、堅硬砕石及び堅硬砕砂を使用
NSC	40	46.5	8±2.5	単位水量：140kg/m ³ 、川砂利及び川砂と陸砂の混合砂を使用
RESIN	30	-	-	MMA樹脂系レジンコンクリート

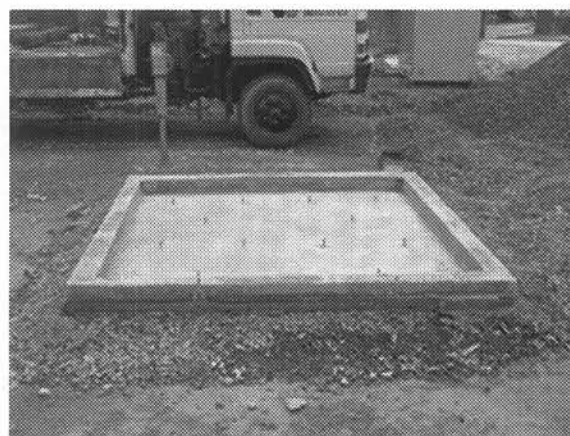
HSC：高強度コンクリート、NSC：土木用普通コンクリート、RESIN：レジンコンクリート

(表-3) 試験項目及び方法

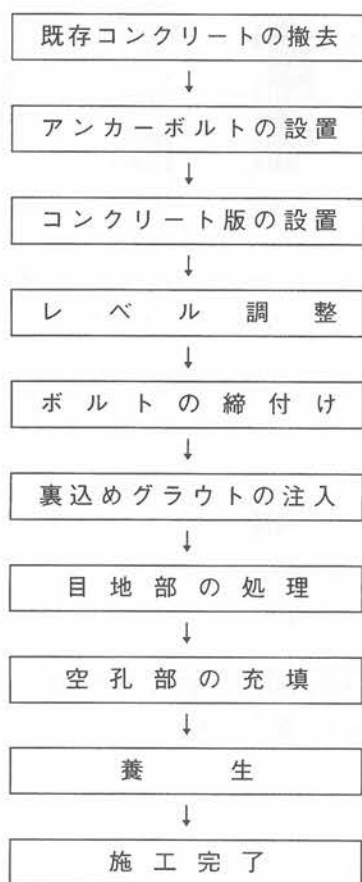
試験項目	試験方法
圧縮強度	JIS A 1108 による。
耐摩耗性	ASTM C 418 (サンドブラスト試験) に準拠。ノズル先端から供試体表面までの距離を 65mm、砂の噴射時間を 5 分間と設定した。また、すり減り材料には珪砂を用いた。
耐衝撃摩耗性	供試体上部に高さ 1m の位置から直径約 70mm、重さ約 1.5kg の鋼球を 300 回落下させて行った。



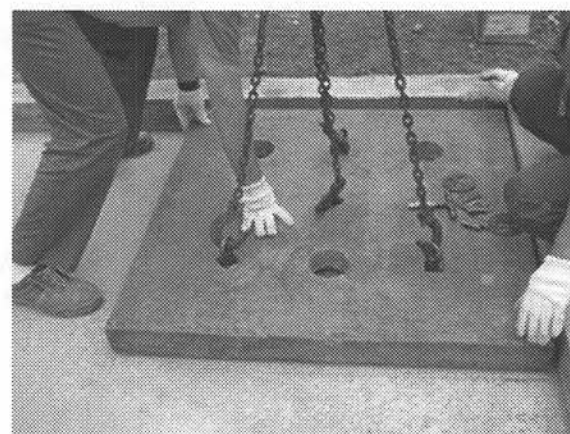
(図-4) 各種コンクリートの衝撃摩耗量
(鋼球落下試験)



(写真-2) アンカーボルトの設置



(図-5) 施工フロー図



(写真-3) プレキャスト版の設置

してそれぞれ33%、42%小さい値を示すことが分かった。

(4) まとめ

本試験の結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 水セメント比を30%とし、コンクリート用混和材及び硬質骨材を用いた高強度コンクリートは、 $100\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の圧縮強度を示した。
- 2) 高強度コンクリートの耐摩耗性は、普通コンクリートに対してすりへり係数で33%、衝撃摩耗量で42%低減することが認められた。

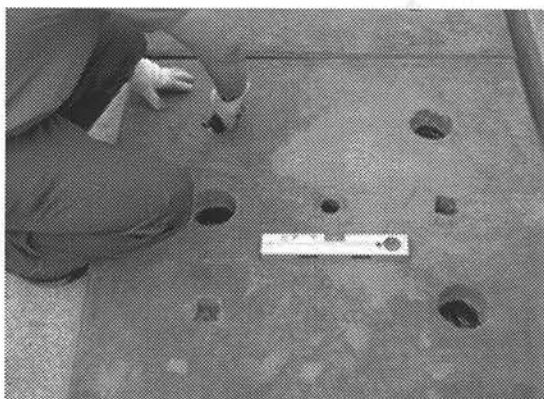
7. 施工方法

本工法の施工手順を(図-5)に示す。また、一連の施工状況を(写真-2)～(写真-8)に示す。なお、ここでは $990 \times 990 \times 80\text{mm}$ の小型サイズの例を示す。コンクリート版の取外しに関しては、コンクリート版とグラウトとの付着強度は $0.01\text{N}/\text{mm}^2$ 程度を示し、容易に取

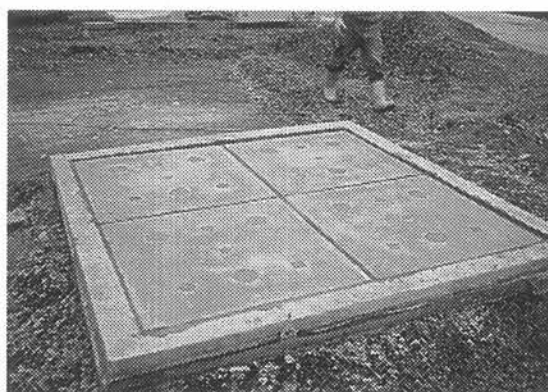
にそれぞれ示す。

(図-2)より、HSCの圧縮強度は、NSCやRESINの約2倍以上の $100\text{N}/\text{mm}^2$ を示すことが分かった。

(図-3)及び(図-4)より、HSCのすり減り係数及び衝撃摩耗量は、RESINには及ばないものの、NSCに対



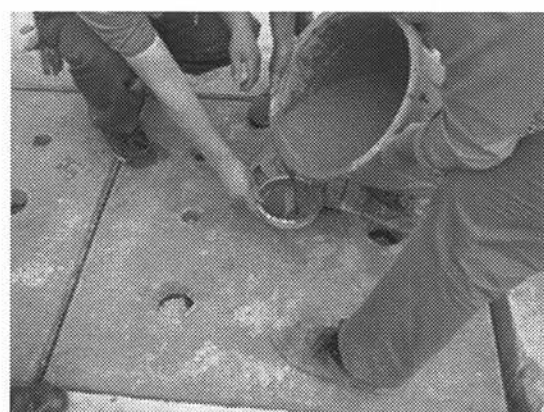
(写真-4) レベル調整



(写真-8) 施工完了



(写真-5) アンカーボルトの締付け



(写真-6) 裏込めグラウトの注入



(写真-7) 空孔部の充填

外せることを確認している。

8. おわりに

本報文では、コンクリート水利構造物の補修用に開発した「高強度プレキャストコンクリート版による耐摩耗補修工法」について紹介した。

本工法は、従来の“コンクリート表面に耐摩耗層を作る方法”における課題に対し、高強度プレキャストコンクリート版を使用することにより、構造の安定性、施工性、及びコスト等の改善を図ったものである。

高強度プレキャストコンクリート版は、工法上の「耐摩耗性に優れる」ことを要求条件として、水セメント比骨材及び混和材等の配合を工夫し、その性能を得ることができた。又、これらの性能は、各種試験により確認している。

本工法を採用するに当たっては、施設の残存耐用年数の評価や補修範囲の決定等について技術的な総合判断を前提とするが、コンクリート水利構造物の機能回復を図るための一工法として実用上有効なものと考えている。

今後は、循環型社会への適応に配慮し、高強度プレキャストコンクリート版の耐摩耗性や耐衝撃性の一層の向上とコンクリート水利構造物の補修技術の開発を目指すものである。

尚、本工法は、当社と前田製管株式会社にて共同で特許出願をしている。