

砂防堰堤の改築におけるコンクリート増厚時の 新旧接着面に関する研究

CONSTRUCTION JOINT OF CONCRETE SURFACE FOR FUNCTIONAL IMPROVEMENT SABO DAMS

原田 紹臣¹・日高 幸治²・藤澤 健一³・水山 高久⁴

Norio HARADA, Kouji HIDAKA, Kenichi FUJISAWA, and Takahisa MIZUYAMA

¹京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

E-mail: harada3@kais.kyoto-u.ac.jp

²テクノスジャパン株式会社 (〒673-0028 明石市硯町 3-4-7)

E-mail: k-hidaka@technosjapan.com

³日本ジッコウ株式会社 (〒651-2116 神戸市西区南別府 1-14-6)

E-mail: laboratory@jikkou.co.jp

⁴政策研究大学院大学 (〒106-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail: t-mizuyama@grips.ac.jp

Key Words: concrete joint, concrete surface, SABO dams, experiments, application examples

1. はじめに

近年, 老朽化した砂防関係施設を対象に, 計画的に修繕や改築等を実施していくことを目的に, 長寿命化計画策定に関する基本的な考え方が示された¹⁾. この長寿命化計画における砂防堰堤等の改築に際して, 近年における設計外力の見直し等に伴って, 土石流の作用時における構造物の安定化等を図るため, 砂防堰堤の下流側等へのコンクリート打継増厚(腹付け)等による対策が提案されている²⁾. 一方, 既設砂防堰堤の堆砂容量の増加を目的とした堰堤天端等におけるコンクリート打継ぎ(嵩上げ)も提案されている²⁾.

コンクリート打継ぎ時の新旧コンクリート接着面における継目処理は, 機械的方法, 物理的方法及び化学的方法に分類される³⁾. 機械的方法に代表されるチップング処理に関して, 藤倉・青景⁴⁾はコンクリート切削面における損傷程度が打継ぎ後の付着強度に影響を及ぼすことを実験により明らかにしている. また, 松田ら⁵⁾は接着面におけるコンクリート表面粗度の定量化と付着強度特性の関係性について提案している. しかしながら, 破

壊に至った供試体の数が少なく, 更なる検討が望まれている. 一方, チップング処理に関して示されている考え方^{6), 7)}において, その処理方法(処理深さ等)の目標値がそれぞれ異なっていると同時に, 凹凸の処理密度等の詳細な内容が明示されておらず, 更なる検討が望まれる. また, 機械を用いて打撃の衝撃を与えるため, 老朽化した砂防堰堤においては処理面のひび割れや粗骨材の緩みを誘発させることが懸念される. さらに, 山地河川の施工に際して, 打撃後のコンクリート殻処理等の問題がある.

物理的方法に代表される噴射処理(ウォーター・ジェット工)に関して, 足立ら³⁾は噴射処理による打継ぎ処理後の付着強度に関する優位性について, 実験により示している. ただし, 噴射処理には大型の機械が必要であり, 橋梁等の施工と違って施工が困難な場所もあるため, 施工性や経済性において課題が残る. また, 砂防堰堤下流側面へのコンクリート打継ぎ改築において, チップング処理等と鉄筋挿入を併用した考え方が一部で示されている^{例えば, 7)}. これは, 接着面におけるせん断や曲げ応力等に対する強度を殆ど期待していないためである.

ただし、実際の構造系においてはこれらの強度の一部は期待されると考えられるため、過大な設計方針であることが懸念される。

そこで、チップング等に代表される従来工法の代替工法として、化学的方法の一つであるポリマー系接着材⁸⁾について繊維補強した新旧コンクリート打継目接着剤に関して検討する。本工法は打ち継ぎ目の付着力の高強度が期待されるとともに、山間部における砂防堰堤での施工に優位であると考えられる。また、経済性においても従来工法と比較しても顕著な差がない。

本研究は本打継目接着剤の処理効果に関して、室内実験や現地実験結果に基づいてその強度特性等について明らかにするとともに、砂防堰堤改築における新旧コンクリートの接着面の処理方法について考察する。

2. 新旧コンクリート打継目接着材の概要

筆者らが提案する新旧コンクリート打継目接着材(繊維補強ポリマー・セメント系接着材)は、表-1 に示す割合で配合する材料である。なお、本工法は従来のチップング処理等と比べて施工時における負荷が少なく、施工条件に応じた塗布方法(吹付、左官工等)の選択が可能である。一方、接着材としてこれまで採用されていたエポキシ系の接着材は接着材の硬化前に新コンクリートを打設する必要があったが、ポリマー系の接着材では接着材の硬化後においても新コンクリートの打設が可

表-1 繊維補強ポリマー系接着材の配合

粉体 (kg/m ³)	混和液 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)
1,720	123	256

表-2 繊維補強ポリマー系接着材の詳細な施工方法

施工	概要
下地処理工	旧コンクリート下地処理表面の脆弱層や異物を除去する
散水処理工	下地処理後に表面に散水し、湿潤状態にする
練り混ぜ	混和液と水を容器に入れ、粉体を加えながら均一に練り混ぜる
塗付工	2~4mm程度の塗装厚で表面に塗布する
新コンクリート打設	接着材硬化後、1~14日以内に新コンクリートを打設

能である⁸⁾。さらに、本接着材の硬化後は緻密な不透水の構造体が形成され、新旧コンクリート間における水密性が確保される。

本施工方法の流れを表-2 に示す。表-2 に示されるとおり、旧コンクリート表面に存在する異物を水洗浄等により除去してから接着材を塗布する。なお、ポリマー系の接着材は、塗布後から新コンクリートを打設するまでの期間(以降、オープン・タイム)を長期に許容できる。

試験体の作成に関して、旧コンクリート打設60日後に表面処理を実施した。また、本接着材の塗布後、オープン・タイムを変化させた場合以外については、オープン・タイムを3日として新コンクリートを打設し、新コンクリート打設後28日に強度試験を実施した。なお、全試験体は湿布養生とした。

3. 接着材の打継目処理効果に関する実験

新旧コンクリートの打継目処理に関して提案する接着材(繊維補強ポリマー・セメント系接着材)の処理効果(耐荷性)について、室内実験により検証する。

(1) 実験概要

本実験では、繊維補強ポリマー・セメント系接着材の耐荷性等に関して、室内にてせん断(斜め圧縮せん断)



写真-1 チップング処理の状況

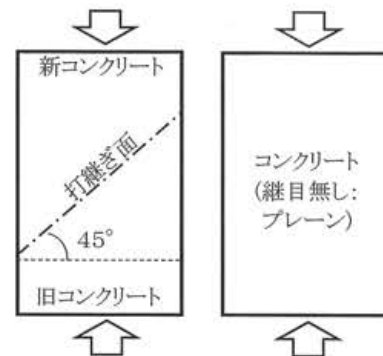


図-1 せん断強度試験の概要(打継目有無) (例えば、9)

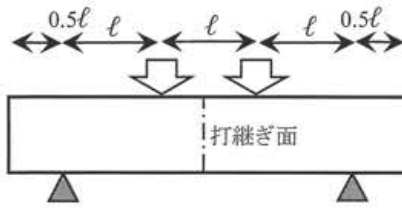


図-2 曲げ強度試験の概要

表-3 供試体を使用したコンクリートの2種の配合条件

材料等	コンクリート配合	
	21-8-20 BB	18-8-20 BB
水セメント比 (%)	60	67
細骨材率 (%)	46.4	47.7
セメント (kg/m ³)	275	246
水 (kg/m ³)	165	165
細骨材 (kg/m ³)	850	884
粗骨材 (kg/m ³)	975	965
混和剤 (kg/m ³)	2.75	2.46
スランプ (cm)	8±2.5	8±2.5
空気量 (%)	4.5±1.5	4.5±1.5

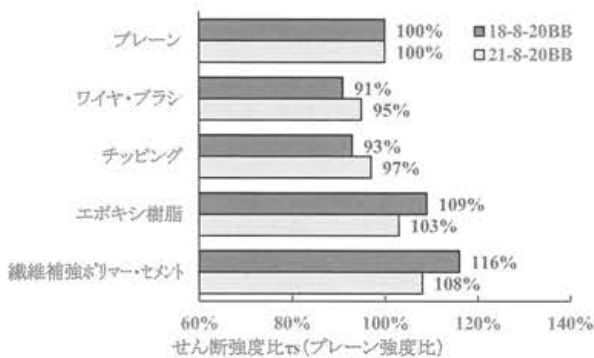


図-3 各表面処理方法の違いがせん断強度に与える影響

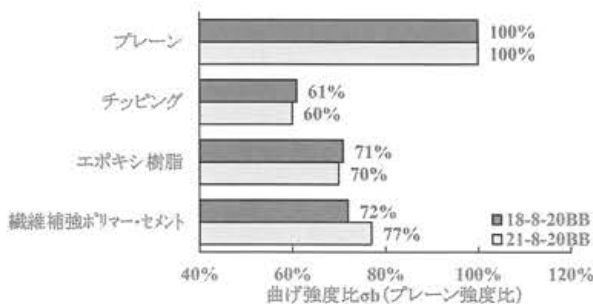


図-4 各表面処理方法の違いが曲げ強度に与える影響

試験^{9), 10)}及び曲げ強度試験により, 他工法(チップング:写真-1 やエポキシ樹脂による接着等)や打継目のない一体となった供試体(プレーン)と比較して考察する. 各試験の概要を図-1 及び図-2 にそれぞれ示す. なお, 本研究では先ず基礎的な強度特性を把握するため, 図-1 に示されるとおり, せん断強度に関して簡易に試験可能な手法を用いている. 供試体の形状については, それぞれ φ12.5cm×25 cm, 12.5cm×12.5cm×53cm であり, 表-3 に示す配合条件のコンクリートを用いる. また, 本接着材における施工条件の違いが耐荷性に与える影響を把握するため, 塗布厚及びオープン・タイムをそれぞれ変化させて実験する.

(2) 実験結果及び考察

新旧コンクリートの打継目における処理工法の違いが供試体のせん断強度及び曲げ強度に与える影響に関して, 図-3 及び図-4 に実験結果をそれぞれ示す. なお, 各処理工法における強度の違いを把握するため, プレーン供試体の強度との割合により表現する. せん断強度比 r_s 及び曲げ強度比 r_b は, それぞれ,

$$r_s = \tau_{fi} / \tau_f \times 100 \quad (1)$$

$$r_b = \sigma_{fi} / \sigma_f \times 100 \quad (2)$$

である. ここに, τ_{fi} は各処理工法におけるせん断強度 (N/mm²), τ_f は打継目を有しないせん断強度 (N/mm²), σ_{fi} は各処理工法における曲げ強度 (N/mm²) 及び σ_f は打継目を有しない曲げ強度 (N/mm²) である. なお, せん断試験における各せん断強度 τ_f は, コンクリートの一軸圧縮強度から推定している^{例え, 11)}. 図-3 に示されるとおり, ワイヤ・ブラシによる簡易な清掃やチップングにより処理された供試体はプレーン供試体と比べてせん断強度が低下している. 一方, 接着材(エポキシやポリマー系)により処理された供試体は, プレーン供試体と比較して強度が向上することが分かった. ここで, ワイヤ・ブラシにより処理された場合と接着材(繊維補強ポリマー・セメント)に処理された場合における供試体



写真-2 ワイヤ・ブラシ清掃処理の供試体破壊状況



写真-3 繊維補強ポリマー・セメントにより処理された

供試体の破壊状況

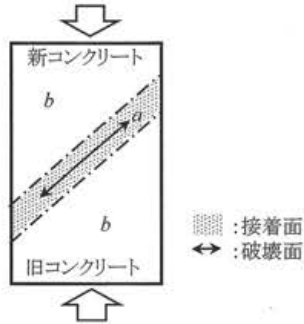


図-5 せん断破壊位置に関する定義図

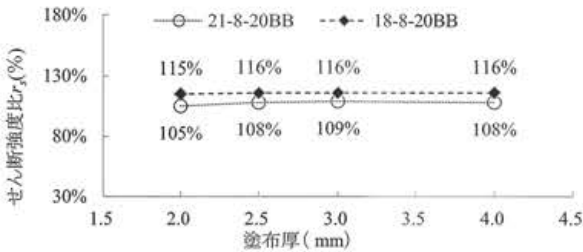


図-6 塗布厚の違いがせん断強度に与える影響の変化

の破壊状況をそれぞれ写真-2 及び写真-3 に示す。写真-2 及び写真-3 に示されるとおり、ワイヤー・ブラシによる処理の場合には接着面(a:図-5)に沿って破壊を起こしているが、接着材による処理の場合においては接着面における抵抗が供試体の強度より上回ったことにより、コンクリート内部で破壊(b:図-5)したものと考えられる。ただし、本結果は、供試体高の違いによる影響を受けていることが懸念されるため、更なる実験が望まれる。

一方、曲げ強度に関して図-4 に示されるとおり、接着材により処理された場合は、チッピング処理と比べて約1.2 倍程度の強度であった。ただし、打継目が存在する全ての供試体はプレーン供試体の強度を下回っており、引張り側における剥離による曲げ破壊が確認された。

これらの結果より、曲げ応力が作用する構造体(嵩上げ等)においては打継目の処理に加えて、引張力に対する鉄筋による補強が必要となることが分かった。一方、斜め圧縮応力等が作用する構造体(腹付け等)では接

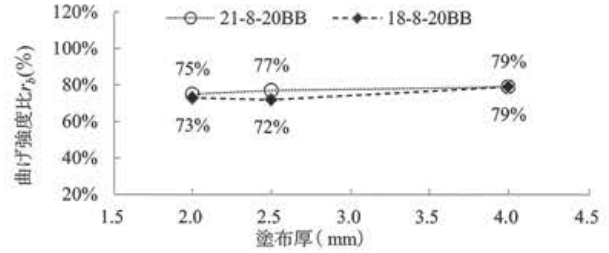


図-7 塗布厚の違いが曲げ強度に与える影響の変化

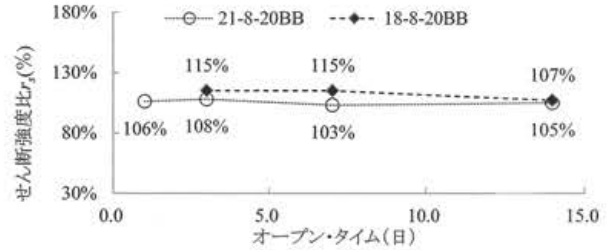


図-8 オープン・タイムの違いがせん断強度に与える影響の変化

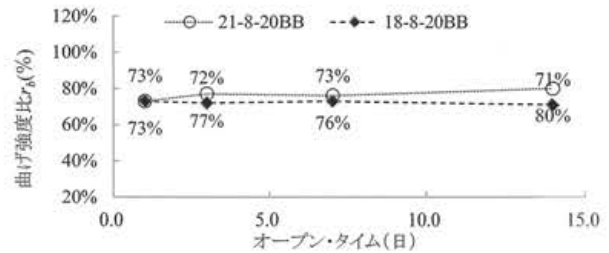


図-9 オープン・タイムの違いが曲げ強度に与える影響の変化

着材のみでの一体化が期待できることが示唆された。今後、詳細なせん断試験方法による検証が望まれる。次に、繊維補強ポリマー・セメント系接着材の耐荷性に関して、塗布厚の違いがせん断強度及び曲げ強度に与える影響を図-6 及び図-7 にそれぞれ示す。図-6 及び図-7 に示されるとおり、塗布厚の違いは強度に対して殆ど影響をあたえないことが分かった。なお、接着材の塗布施工において、一般的に1mm 程度以上の誤差が考えられるとともに、旧コンクリートの表面には凹凸が存在するため、塗布厚は少なくとも2mm 程度以上とすることが望まれる。また、オープン・タイム(ただし、14 日以内)の違いについても耐荷性に殆ど影響を与えないことが確認された(図-8 及び図-9)。

4. 接着材の打継目処理効果に関する現地実験

繊維補強ポリマー・セメントの適用方法や施工時の留意点に関して検討するため、現地の砂防堰堤を対象に試行的に実験する。なお、3. の曲げ試験結果において引張力に対する鉄筋補強が必要であることが判明し

たため、接着面の付着強度に着目する。その際、チップングと接着材との二重処理に伴う複合効果及び接着材による施工時の下地(旧コンクリート)における表面処理方法の違いが耐荷性に与える影響について把握する。

(1) チップング及び接着材との複合(二重)処理効果

チップングと接着材との複合処理をした場合の効果を現地にて把握するため、既設コンクリート砂防堰堤の天端(写真-4)において、付着強度に関して実験した。試験に関して、チップング処理または清掃後に接着材を2.5mm厚さで塗布し、その3日後にモルタルを10mm厚さで塗布した。なお、モルタル塗付後にシート等で被って乾燥を防ぎ、14日後に付着強度を測定した。また、付着強度試験については、一般的な建研式接着力試験機¹²⁾を採用した(写真-5)。チップング処理と接着材との複合処理した場合における付着強度の違いについて、実験結果を図-10に示す。図-10に示されるとおり、チップング処理に接着材を加えて複合処理した場合、付着強度が1.5倍程度以上に向上することが分かった。

(2) 接着材打継面の下地処理効果に関する現地実験

旧コンクリートにおける下地の表面処理方法の違いが付着強度に与える影響を把握するため、構造物背面(写真-6:鉛直面)における接着面の付着強度に関して、写真-6に示す4種類の処理条件を対象に実験した。なお、接着剤及びモルタルの塗付については、前述(1)の試験と同様とした。



写真-4 コンクリート構造物天端における付着強度試験の状況



写真-5 建研式接着力試験機の概要¹²⁾

本接着材における下地処理方法の違いが付着強度に与える影響に関して、実験結果を図-11に示す。図-11に示されるとおり、接着材の下地処理として高圧水洗浄により処理された付着強度はチップング処理のみに比べて、約2倍程度の付着強度であることが分かった。一方、清掃程度による接着材での処理では、チップング処理に比べて大幅に強度が低下する傾向が示された。また、接着材を用いた各試験結果においては、それぞれ最大値と最小値との間において誤差が確認された。これは、旧コンクリートの表面に残存した異物量の違いによるものと考えられる。ただし、旧コンクリート表面の異物を水により完全に除去して接着材を用いた打継目処理をした場合、従来の工法と比較して顕著に付着強度が向上することが分かった。これらの結果より、新旧コンクリートの打継表面処理として提案する施工性や水密性が優位な繊維補強ポリマー・セメントに関して、室内試験及び現地実験結果により、従来の他工法と比較して耐荷性が優位であることが分かった。ただし、前述にも示すとおり、せん断強度について更なる実験の追加が望まれる。

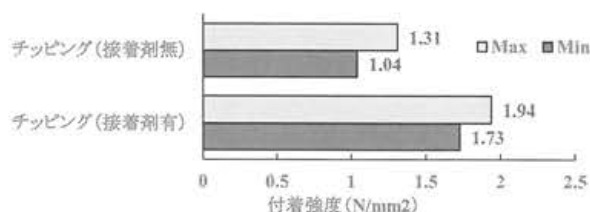


図-10 チップングと接着材の二重処理における複合効果



写真-6 接着材下地処理とチップング処理との比較

(①:チップングのみ, ②:高圧水処理, ③:ブラシ処理, ④:清掃)

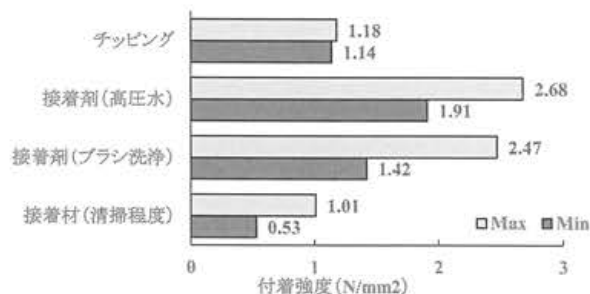


図-11 各表面処理方法の違いが付着強度に与える影響

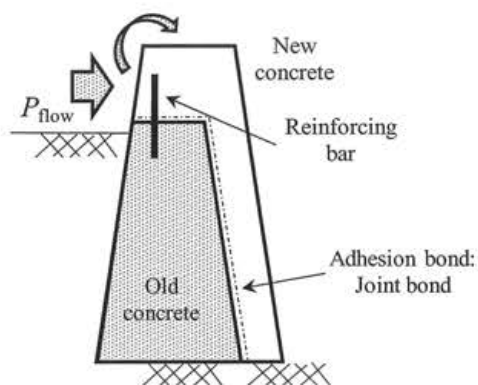


図-12 堰堤のコンクリート増厚に関する概略図

前述にも示すとおり、堰堤の嵩上げ時の場合、土石流等の水平力により嵩上げ部材の継ぎ目部（水平継目部）に曲げ応力が作用することが考えられるため、新旧コンクリート接着面処理に加えて、鉄筋等による補強が必要であると考えられる（図-12）。ただし、土石流等の水平外力による斜め方向にせん断力等が作用すると考えられる堰堤上流面等における鉄筋の必要性について、更なる検討が必要である。

5. まとめ

砂防堰堤の打継改良（腹付けや嵩上げ）における新旧コンクリートにおける打継接着材の処理効果に関して、室内実験及び既設砂防堰堤を対象にした現地実験結果により、その特性について把握し、適用性等について考察した。

本研究により得られた成果を以下に要約する。

- 1) 新旧コンクリートの打継処理方法として、施工性や水密性が優位と考えられる繊維補強ポリマー・セメント接着材に関して、室内実験により従来工法との強度特性の違いについて示した。
- 2) 打継目処理時の新旧コンクリート接着面におけるせん断強度及び曲げ強度に関して、繊維補強ポリマー・セメント接着材は従来の他工法と比較して優位であることが示唆された。今後、更なる検証が必要である。
- 3) 繊維補強ポリマー・セメント接着材による処理に関して、塗布厚及び硬化後のオープン・タイムの違いが耐荷力に殆ど影響を与えないことが分かった。
- 4) 既設砂防堰堤を対象にした現地実験により、接着材処理における下地処理方法の違いが付着力に与える影響に関して、旧コンクリート表面に付着している異物の除去が重要であることが確認された。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部：砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案），2014。
- 2) 一般社団法人 建設コンサルタンツ協会 技術部会 砂防・急傾斜専門委員会：砂防関係施設維持管理の手引き，2017。
- 3) 足立一郎・五十嵐英幸・迫田恵三・八尋輝夫：ウォータージェットを用いた新旧コンクリートの打継ぎ，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 18, No.1, pp.1353-1358, 1966。
- 4) 藤倉祐介・青景平昌：補修・補強工事におけるコンクリート切削面の損傷程度が打継ぎ目ウォータージェットを用いた新旧コンクリートの打ち継ぎ後の付着強度に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 28, No.1, pp.1709-1714, 2006。
- 5) 松田 浩・崎山 毅・森田千尋・和田眞禎・小嶋 悟・中山沙織・仲村政彦・山本 晃・鶴田 健：コンクリート表面粗度の定量化と付着強度特性に関する研究，長崎大学工学部研究報告，Vol. 30, No. 55, pp.183-189, 2000。
- 6) 一般財団法人 日本建設機械施工協会：橋梁架設工事の積算，2013。
- 7) 兵庫県：管理規定集，2000。
- 8) 森脇貴志・辻幸和・橋本親典・中島貴弘：ポリマー・セメントモルタルを打継ぎ材に用いた新旧コンクリートの打継ぎ強度特性，土木学会論文集，No. 538, V-31, pp. 15-26, 1996。
- 9) Sanations of Reinforced concrete Bridges with the Polymer Based Materials, *Proc. of the 2nd International Symposium on "Adhesion between Polymers and Concrete"*, pp. 311-317, 1999。
- 10) 旧建設省：RCD 工法技術指針（案），1996。
- 11) 近藤泰夫・坂静雄：コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，pp.7951, 1965。
- 12) 舌間孝一郎・岡村雄樹：打継ぎコンクリートの一体性評価試験方法に関する考察，土木学会年次学術講演会講演概要集第5部 Vol60, pp. 5-264, 2005。

(2016. 5. 21 受付)