

超高強度合成繊維補強コンクリートを用いた耐磨耗部材の開発

株式会社エスイー

○野澤 忠明

前田 宏樹

濱口 祥輝

1. はじめに

砂防えん堤堤冠部では、流下する土石により長期間衝撃や摩擦を受け、欠損や磨耗が顕在化している。従来、水通し堤冠部の磨耗対策は、富配合コンクリートやグラノリシックコンクリートによる保護や、現地石材による石張り工等により対策がなされてきた。しかし、富配合コンクリートでも磨耗に対し強度不足であったり、グラノリシックコンクリートではセメント分の洗掘による骨材の流出などの問題があった。一方、花崗岩による石張りを施したえん堤では、耐磨耗性は十分備えているものの、現地石材の確保の困難性、石工職人の減少などの問題が挙げられている。平成 25 年 9 月に国土交通省より公表された直轄砂防施設の集中点検結果においても、基礎の洗掘、水通し天端の磨耗など、磨耗現象が起因となる不具合が 221 施設で確認されている。この様に、砂防えん堤の長寿命化対策において、磨耗対策は大きな課題となっている。

このような背景のもと、本報文は、砂防えん堤など磨耗を受ける構造物の長寿命化に向け、高強度・高耐久を兼ね備えた超高強度繊維補強コンクリートを用いた耐磨耗部材の性能確認試験を実施したので以下に結果を報告するものである。

2. 超高強度繊維補強コンクリート

超高強度繊維補強コンクリートは、結合材に添加されたポゾラン材や微粒子の作用により、緻密な硬化体が形成され、普通コンクリートの 5 倍以上の圧縮強度を発揮するとともに、塩化物イオンの侵入や凍結融解に対する耐久性、耐磨耗性に優れるといった特長を有している。また、配合される短繊維により引張強度および靱性の補強がなされている。2004 年には土木学会より設計・施工指針(案)¹⁾が刊行され、近年様々な用途で活用され始めている。補強繊維は、鋼繊維もしくは合成繊維が使用されるが、本件では腐食の恐れが無い合成繊維を使用した。

3. 性能確認試験

耐磨耗部材に求められる性能として①耐磨耗性、②耐衝撃性を取り上げ、この 2 特性について、普通コンクリート、富配合コンクリート、花崗岩および超高強度繊維補強コンクリートの 4 種類において比較試験を行った。表-1 に各供試体の圧縮強度を示す。

表-1 各供試体圧縮強度

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)
超高強度合成繊維補強C	148
普通C	28.4
富配合C	36.8
花崗岩	143

3. 1 耐磨耗性試験

耐磨耗性の評価を行うため (1) ASTM C775「水平なコンクリート表面の耐磨耗試験方法」(ディスク法)、(2) JIS A1121「ロサンゼルス試験機による粗骨材の磨り減り磨耗試験」に準じた磨耗試験の 2 つの試験を実施した。

(1) ASTM C775「水平なコンクリート表面の耐磨耗試験方法」(ディスク法)

一定荷重が負荷された回転円盤を供試体に押し当て、所定時間回転させた際の供試体の磨耗深さを計測する試験である。60 分経過後において、花崗岩の磨耗深さが 0.47mm と最も少ない結果となった。超高強度繊維補強コンクリートの磨耗深さは、0.60mm で花崗岩とほぼ同程度の値を示すと共に、普通コンクリートに対しては 50%以下、富配合コンクリートに対しては 60%以下の磨耗深さであり、優れた耐磨耗性を示した。

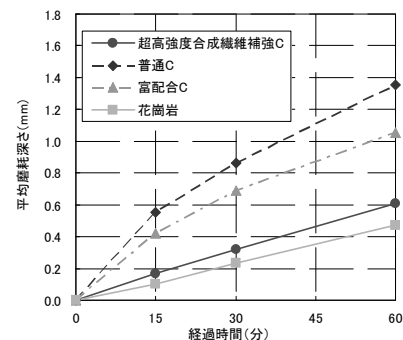


図-1 ディスク法による磨耗試験結果

(2) JIS A1121「ロサンゼルス試験機による粗骨材の磨り減り(磨耗試験)」に準じた磨耗試験

試験機内に供試体と鉄球を投入し、所定回転数に到達した際の質量減少量を計測した。

供試体寸法はφ100×100とし、6体を使用した。2000回転到達時の質量減少率は、花崗岩が最も小さい結果となった。超高強度繊維補強コンクリートの質量減少率は22%で、普通コンクリートおよび富配合コンクリートに対して0.4~0.5倍の減少率であった。また、写真-1に示すように、超高強度コンクリートおよび花崗岩は2000回転後においても原形をとどめており、他材料に対して優れた耐磨耗特性を有していることが確認された。

供試体	各回転数における質量減少量(%)				
	100回	500回	1000回	1500回	2000回
超高強度合成繊維補強C	3	9	14	18	22
普通C	5	17	30	42	53
富配合C	3	12	21	31	41
花崗岩	3	6	8	10	11

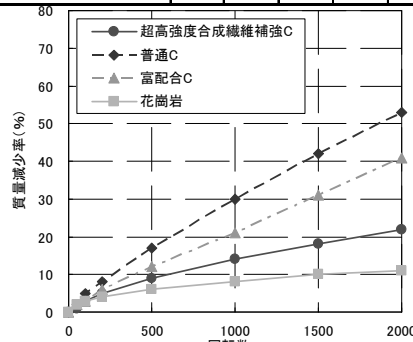


図-2 磨り減り磨耗試験結果

試験開始前



2000回転後



①普通C ②富配合C
③花崗岩 ④超高強度C

写真-1 供試体状況

3. 2 耐衝撃性試験

耐衝撃性を比較するため、小林らの報告²⁾を参考に、鋼球(質量:3515.7g)落下試験を実施した。各供試体厚さをt=50、70、100mmとし、支持条件は対辺固定支持とした。落下高さは、最初0.1mから以後0.1mずつ高さを増加させ、各々の高さで10回ずつ鋼球を落下し、供試体が破壊に至るまでの累積衝撃エネルギーを比較した。なお、最大落下高さは1.0mとし、10回落下させても破壊に至らない場合、供試体が破壊するまで1.0mの高さから落下を繰り返した。また、衝撃エネルギー(E)=位置エネルギーとし、式-1より算出した。

$$E(J) = \sum (m \cdot g \cdot h) \quad \dots (式-1)$$

ここに、m: 鋼球質量、g: 重力加速度、h: 落下高さ

図-4の通り、超高強度繊維補強コンクリートが最も耐衝撃性に優れる結果が得られた。さらに、他の供試体ではクラックの発生と同時に破壊に至ったのに対し、超高強度繊維補強コンクリートでは、クラックが発生しても合成繊維の架橋効果により破壊には至らず、落下回数を増すごとに徐々にクラックが進行していく破壊形態を示し、優れた耐衝撃性を発揮した。さらに、供試体厚さが耐衝撃性に大きく影響し、超高強度繊維補強コンクリート供試体では、50mmから100mmに2倍にしたところ、耐衝撃性は約4倍まで向上した。また、耐衝撃性のさらなる向上を目指し、超高強度繊維補強コンクリートの間にゴムを挟んだ供試体についても試験を実施した。その結果、耐衝撃性能が向上するとともに、写真-2の様にクラックの分散も確認されたことから、衝撃力の分散効果も期待される結果となった。

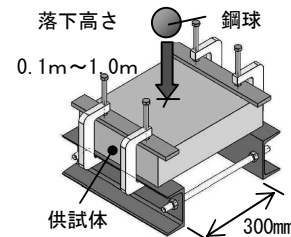


図-3 耐衝撃性試験概略図

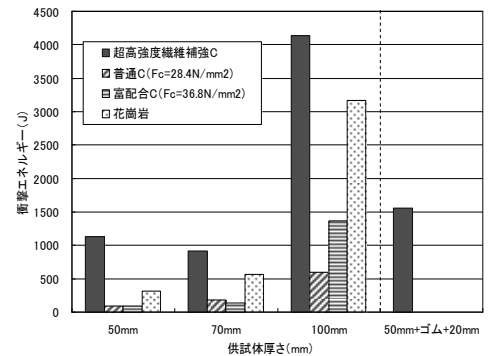


図-4 耐衝撃性試験結果



写真-2 クラック状況

4. おわりに

今回の試験により、超高強度繊維補強コンクリートは、花崗岩並みの耐磨耗性能と花崗岩以上の耐衝撃性能を備えており、従来の磨耗対策に替わり得る材料であることが確認された。今後は施工性なども考慮した詳細形状を検討すると共に、現場実証試験を行い有効性を確認し、早期の製品化を目指したい。

<参考文献>

1) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，2004 2) 小林忠司，前田直巳：酸性河川砂防ダムに使用する耐酸性プレキャストコンクリートパネルに関する研究，土木学会東北支部技術発表会論文集，pp.518-519,1997