

超高強度繊維補強コンクリートの O式磨耗試験機による磨耗試験

柴田辰正* 小幡浩之** 田中秀樹*** 石川高志****

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート (Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete 以下、「UFC」という。) は、高強度、高靱性を有することを目的に開発された新しいコンクリート技術である。UFCは、最密充填組成となるようにポズランをセメントに一定の割合でプレミックスした結合材に、専用高性能減水剤、靱性を高めるための専用鋼繊維または有機繊維から構成される硬化体である。所定の熱養生を施すことで、圧縮強度 200 N/mm^2 以上の超高強度、高靱性に加えて、磨耗や凍結融解、中性化、塩害作用に対し極めて高い抵抗性を有する材料となる。

UFCは、その性能が認められ、多くの研究開発が進められた結果、2004年には土木学会より、「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案)」 (以下、指針案という。) が刊行された。

UFCは、同指針案の刊行を契機に、その優れた力学特性と耐久性を活かして様々な用途で使われはじめ、高性能のコンクリート製埋設型枠に適用され、建設技術審査証明を受けているものもある¹⁾。



写真-1 UFCの橋脚への適用例
(橋脚下部にUFC製のパネルを設置)

表-1 超高強度繊維補強コンクリート (UFC) の物性²⁾

	超高強度繊維補強 コンクリート(UFC)	通常のコンクリート
圧縮強度	150 N/mm^2 以上	$18 \sim 80 \text{ N/mm}^2$
水セメント比	0.24以下	0.3~0.6
透気係数	10^{-19} m^2 以下	$10^{-17} \sim 10^{-15} \text{ m}^2$
透水係数	$4 \times 10^{-17} \text{ cm/s}$	$10^{-11} \sim 10^{-10} \text{ cm/s}$
塩化物イオンの拡散係	$0.0019 \text{ cm}^2/\text{年}$	$0.14 \sim 0.9 \text{ cm}^2/\text{年}$
空隙率	約4vol.%	約10vol.%

UFCの用途には、海岸や急流河川の橋脚、水路トンネルのライニング、砂防ダム越流部などがある。このような構造物では、波浪や激しい水流にともなう砂れき・玉石による磨耗・衝撃作用を受けるため、高い耐久性を有するUFCの適用が求められている。写真-1には、海岸の橋脚へのUFCの適用例を示す。

本報文は、このような水と砂利などが複合して作用する過酷な条件下でのUFCの磨耗特性についての実験的検討結果を報告するものである。

2. UFCの特徴

2.1 UFCの定義

UFCは、土木学会の指針案では、「超高強度繊維補強コンクリート (UFC) は、圧縮強度の特性値が 150 N/mm^2 以上、ひび割れ発生強度の特性値が 4 N/mm^2 以上、引張強度の特性値が 5 N/mm^2 以上の繊維補強を行ったセメント複合材である。超高強度繊維補強コンクリートのマトリクスは、粒径 2.5 mm 以下の骨材、セメント、ポズランから構成され、水セメント比は0.24以下で、また、引張強度 $2 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 以上で、直径 $0.1 \sim 0.25 \text{ mm}$ 、長さ $10 \sim 20 \text{ mm}$ の補強用繊維を、2vol.%以上混入したものを標準とする。」と定義されている。

2.2 UFCの物性

UFCの物性の一例を表-1に示す²⁾。表中には、比較として通常のコンクリートの値も示している。UFCは、表に示すように通常のコンクリートに比べて、高強度であり、透水係数、透気係数およ

表-2 磨耗試験結果（回転ディスク法）¹⁾

種 類	圧縮強度 (N/mm ²)	回転ディスク法	
		すり減り深 さ(mm)	質量減少率 (%)
UFC	214	0.67	0.58
高強度コンクリート	69.3	1.23	0.94

※試験時間60分の結果

表-3 磨耗試験結果（サンドブラスト法）¹⁾

種 類	圧縮強度 (N/mm ²)	サンドブラスト法
		すり減り量 (cm ³ /cm ²)
UFC	208	0.011
普通コンクリート	38.0	0.074

び拡散係数は、著しく小さく、空隙量の少ない緻密な材料である。このため塩化物イオンなどの物質移動が生じにくい材料である。

また、UFCの磨耗特性の一例¹⁾を表-2および表-3に示す。表-2は、ASTM C779（砂れきによる水平磨耗試験、以下「回転ディスク法」という。）に準拠した方法で高強度コンクリートと比較したもので、UFCのすり減り量は55～60%程度である。表-3は、ASTM C418（サンドブラスト法による砂れきによる垂直磨耗強さ試験、以下「サンドブラスト法」という。）に準拠した方法による普通コンクリートとの比較で、UFCのすり減り量が約15%であり、いずれも高い耐磨耗性を示している。なお、これらの試験はいずれも乾式の試験である。

また、耐衝撃性として、鋼球（1.5kg）を高さ1.5mから3000回自由落下させた際の凹部体積を比較すると、普通コンクリートに比べ約5倍の強さを有していた。

3. O式磨耗試験機による磨耗試験の目的

これまでのUFCの磨耗特性は、乾式の磨耗試験により求められたものであった。しかし、UFCの使用が想定される場所は、河口域の橋脚など水と砂利などが飛来する過酷な場所であり、乾式の磨耗試験とは異なった水と磨耗材が同時に作用する条件で磨耗特性を確認する必要がある。本試験では水と磨耗材との複合作用による磨耗現象を再現できるO式磨耗試験機を用いて試験を実施した。

試験は、UFCと高強度コンクリートを用いて、両コンクリートの結果を比較することによって、

UFCの磨耗特性を評価した。

4. 試験水準

磨耗試験に供する供試体の寸法は、UFCおよび比較用の高強度コンクリートともに、φ150mm×300mmの円柱供試体とした。使用材料は以下の通りである。

(1)UFC

UFC専用プレミックス粉体（太平洋セメント社製）

(2)高強度コンクリート

セメント：普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm³、太平洋セメント社製）

細骨材：砕砂（密度：2.64g/cm³、埼玉県秩父郡皆野町産）

粗骨材：碎石（密度：2.68g/cm³、埼玉県秩父郡皆野町産）

混和剤：高性能AE減水剤（エヌエムビー社製）

UFCは専用鋼繊維2vol%を混入させて練り混ぜ、型枠に打設した。1次養生後脱型し、90℃48時間の蒸気養生を行った。磨耗試験時の圧縮強度は213.4 N/mm²であった。

高強度コンクリートは、水セメント比35%、設計基準強度50N/mm²のコンクリート製品向けの高強度コンクリートとした。磨耗試験時の圧縮強度は55.6N/mm²であった。

5. 試験方法

5.1 O式磨耗試験機

磨耗試験は、国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所所有の内径1000mm、深さ300mmの回転ドラムを持つO式磨耗試験機を使用した。

5.2 磨耗試験の手順

試験は、写真-2に示すようにまず供試体を止め金具によって試験機に固定し、研磨材の姫川産川砂利（骨材粒径：30～40mm）10kgと水道水70Lをドラム内に入れ、鋼製のドラム蓋を取り付けた後にドラムを垂直に立上げ、ドラムを回転させて実施した。ドラムの回転速度は1時間当たり1000回転として、4000回転毎に供試体を取り外して、磨耗量（空中重量および水中重量）の測定を行い、これを4回繰り返して、16000回転まで試験を実施した。

土研センター

5.3 測定項目

試験開始前、4000、8000、12000および16000回転毎に、水中重量および表乾重量（空中重量）を測定し、すり減り体積、すり減り重量およびすり減り係数を算出した。すり減り係数とは、算出した磨耗体積をすり減りを受ける表面積で除した値で、平均すり減り深さに相当するものである。

6. 試験結果

試験で得られたUFCと比較用の高強度コンクリートのドラム回転数とすり減り重量の変化率、ドラム回転数とすり減り体積の変化率、ドラム回転数とすり減り係数の関係を表-4、図-1、図-2および図-3に示す。ここで、すり減り重量および体積の変化率は、試験開始前の試験体の重量および体積に対するすり減り量の割合である。

表-4によれば、UFCのO式磨耗試験による磨耗量は、高強度コンクリートの0.35～0.46倍の結果が得られた。

すり減り重量の変化率、すり減り体積の変化率およびすり減り係数は、ドラムの回転数にともない増加した。この傾向うち、4000回転までの変化はそれ以降よりも大きくなる傾向にあり、その後は直線的に増加した。

乾式の回転ディスク法の結果と比較すると、表-2に示したように、回転ディスク法では、質量減少率はUFCが高強度コンクリートの0.6倍程度であるのに対し、本試験では、0.36～0.45倍となり、より厳しい条件である本試験でUFCの耐磨耗性が高いことを確認することができた。

磨耗試験後（16000回転後）の試験体の状況を写真-3に示す。



(a) 供試体セットと研磨材（骨材）投入



(b) 水道水注入状況

(c) 磨耗試験実施状況
写真-2 試験状況

7. まとめ

UFCの磨耗特性を評価するために、磨耗材と水との相互作用による磨耗現象を再現できるO式磨耗試験機による磨耗試験を行った。その結果、乾式の磨耗試験より結果より磨耗特性が明確に評

表-4 試験結果

ドラム 回転数	すり減り重量の 変化率 (%)		すり減り 重量の 比率 WU/WC	すり減り体積の 変化率 (%)		すり減り 体積の 比率 VU/VC	すり減り係数 (mm ³ /mm ²)		すり減り 係数の 比率 CU/CC
	UFC (WU)	高強度コン クリート (WC)		UFC (VU)	高強度コン クリート (VC)		UFC (CU)	高強度コン クリート (CC)	
0	0	0	-	0	0	-	0	0	-
4000	0.5	1.4	0.36	0.9	2.5	0.36	2.14	6.08	0.35
8000	1.0	2.5	0.40	1.4	3.6	0.39	3.43	8.97	0.38
12000	1.5	3.5	0.43	1.9	4.5	0.42	4.76	11.1	0.43
16000	2.0	4.4	0.45	2.4	5.2	0.46	5.94	12.9	0.46

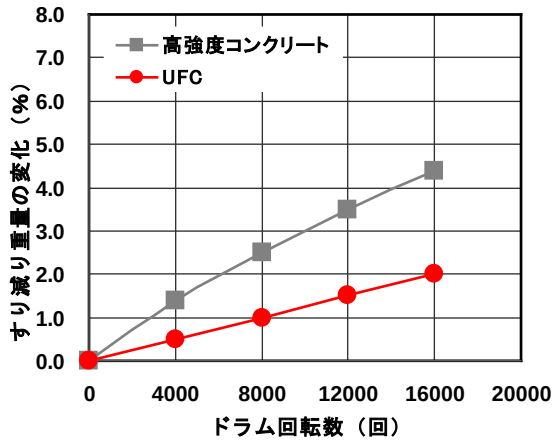


図-1 ドラム回転数とすり減り重量の変化

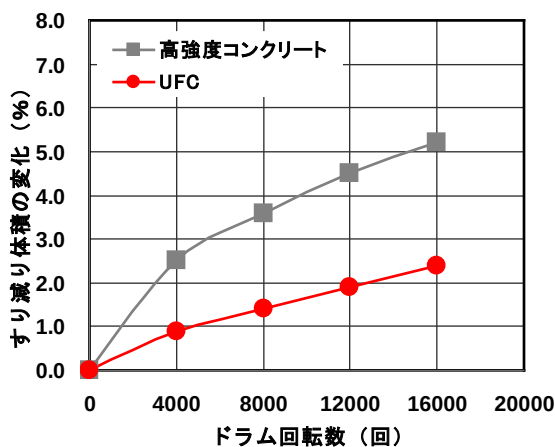


図-2 ドラム回転数とすり減り体積の変化

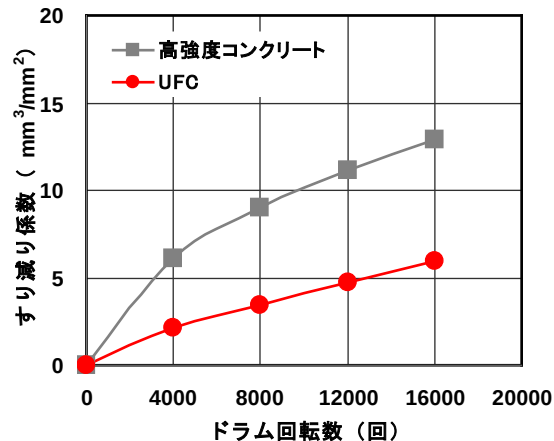


図-3 ドラム回転数とすり減り係数の変化



(a) UFC



(b) 高強度コンクリート

写真-3 磨耗試験後の状況

価され、UFCの磨耗量（すり減り重量、すり減り体積およびすり減り係数）は設計基準強度50 N/mm²の高強度コンクリートの0.35～0.46倍程度となった。これらの結果から、超高強度繊維補強コンクリートは、海岸や河川などの水流と砂れきの複合作用による磨耗環境下において高強度コンクリートよりも約2.2～2.8倍の磨耗抵抗性を有することが確認された。

参考文献

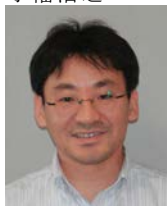
- 1) (財)土木研究センター：超高強度繊維補強コンクリートを用いた高耐久性薄肉埋設型枠「ダクトフォーム」（建技審証0124号）、2007
- 2) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案）、2004

柴田辰正*



財団法人土木研究センター
企画・審査部 主任研究員
Tatsumasa SHIBATA

小幡浩之**



太平洋セメント株式会社
建材カンパニーダクトアル
営業部
Hiroyuki OBATA

田中秀樹***



ジオスター株式会社
技術研究所 所長
Hideki TANAKA

石川高志****



日本コンクリート工業
株式会社電力営業部電
力建材グループ
Takashi ISHIKAWA