

論文 ECC と連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の剥落防止工法の性能評価

谷本竜也^{*1}, 宮里心一^{*2}, 前田徳一^{*3}, 六郷恵哲^{*4}

要旨：本研究では，ECC と連続繊維シートを組み合わせた剥落防止工法について，低温，常温及び高温の 3 種類の気温条件下における剥落防止性能を，押抜き試験により確認した。その結果，ECC と連続繊維シートを組み合わせることにより，変位 10mm 以上における荷重が大きな値(2kN 以上)を示し，最大荷重直後の荷重低下が緩やかであること，繊維シートのラップの有無やラップ箇所の違いが変位 10mm 以上における荷重や最大荷重に及ぼす影響は小さく，ライニング材の切片の剥落も無いこと，20 や 60 に比べ-30 の場合，最大荷重が 1.6 倍程度大きく，最大荷重直後の荷重低下が急であること，が明らかとなった。

キーワード：剥落防止工，ECC，繊維シート，押抜き試験，気温

1. はじめに

現在，構造物の劣化による損傷が顕在化し始めており，これに伴うかぶりコンクリート片の落下による第三者への被害が大きな問題となっている。このような背景から，数多くの剥落防止工法について検討が行われている¹⁾。ここで，剥落防止工法に要求される性能については，剥落するコンクリート片の自重を支持することに加え，鉄筋の腐食膨張による変形が進行した場合においても，剥落を防止することが重要である。また，剥落防止工法の評価は，温度条件などの環境を考慮した条件下で行う必要がある。しかし，これまでの研究では，環境条件(気温条件)を考慮して検討された例はほとんど無い。

高靱性セメント複合材料の一つである ECC(Engineered Cementitious Composites) は，通常のコンクリートと異なり，引張力を受けても脆性的に破壊せず，細かい多数のひび割れを伴いながら大きく変形する点に特徴がある。ECC は，綿状(直径 10~40 μ m，長さ 5~15mm 程度)の短繊維(PE 繊維(ポリエチレン)や PVA 繊維(ピニ

ロン))を体積で 1~2%含有している^{2,3)}。

本研究では，引張力下においても優れた特性を持つ ECC と連続繊維シートを組み合わせた剥落防止工法について，低温，常温及び高温の 3 つの気温条件下における剥落防止性能を，押抜き試験により確認した。

2. 実験概要

2.1 ライニング材と繊維シート

表 - 1 と表 - 2 に剥落防止工におけるライニング材(ECC と PCM)の配合ならびに繊維シートの規格を示す。ライニング材は，プレミックスタイプのポリマーセメントモルタルのみの PCM(繊維を混入していない)とこれに繊維を混入した ECC の 2 種類とした。ECC に混入する繊維は，ピニロン繊維(直径：約 0.026mm，長さ：6mm)と高強度ポリエチレン繊維(直径：0.012mm，長さ：9mm)とした。また，繊維シートは，高強度ポリエチレン繊維シートを用いた。

2.2 供試体概要

表 - 3 に供試体種類を示す。供試体は，ライニ

*1 (株)デーロス 調査・設計室 (正会員)

*2 金沢工業大学 環境建築学部環境土木工学科 講師 博士(工学) (正会員)

*3 東洋紡績(株) (正会員)

*4 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 教授 工博 (正会員)

表 - 1 ライニング材の配合(質量比)

種類	ポリマーセメントモルタル	繊維		混和剤	水
		ビニロン (長さ:6mm)	ポリエチレン (長さ:9mm)		
ECC	100	0.75	0.65	0.55	18
PCM	100			0.55	18

表 - 2 繊維シート
(高強度ポリエチレン)

目台 (mm)	厚さ (mm)	引張応力 (N/5cm)	伸度(%)
10	0.27	1360	3.5

表 - 3 押抜き試験用供試体種類

ライニング材	ライニング材の厚さ	繊維シート(ポリエチレンシート)の配置状況 ^{*3}	養生方法		載荷時の周辺温度	シリーズ名
			現場気中	低・常・高温室		
ECC	6mm	無	40日	2日(-30)	-30	E-30
				2日(60)	60	E60
			30日	2日(20)	20	E20
				2日(-30)	-30	EP-30
			40日	2日(60)	60	EP60
				2日(20)	20	EP20
	6mm (下塗り ^{*1} :3mm) (上塗り ^{*2} :3mm)	有 (コア中心でラップ)	40日	2日(-30)	-30	EPC-30
				2日(60)	60	EPC60
			30日	2日(20)	20	EPC20
		有 (コア端部でラップ)		40日	2日(-30)	-30
			2日(60)		60	EPS20
			30日	2日(20)	20	EPS60
PCM	6mm (下塗り ^{*1} :3mm) (上塗り ^{*2} :3mm)	有 (ラップ無)	30日	2日(20)	20	PCM20

*1 下塗り：母材である U 形ふたの表面に塗る 1 層目のライニング材の層

*2 上塗り：下塗り面に繊維シートを貼り付けた後、再び塗る 2 層目のライニング材の層

*3 繊維シート(ポリエチレンシート)の配置状況：図 - 2 参考

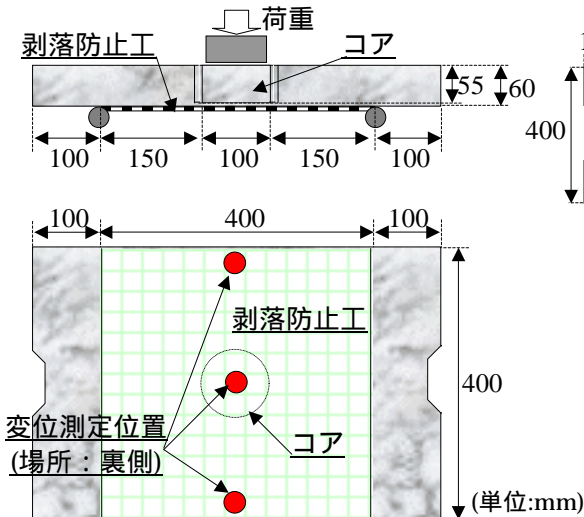


図 - 1 押抜き試験用供試体概要

ライニング材の種類や厚さ、繊維シートの有無ならびに繊維シートの配置が異なる 5 種類とした。

図 - 1 に供試体の概要図を示す。供試体の母材部分は、JIS A 5372 (プレキャスト鉄筋コンクリート製品)に規定する U 形ふた(寸法：60×400

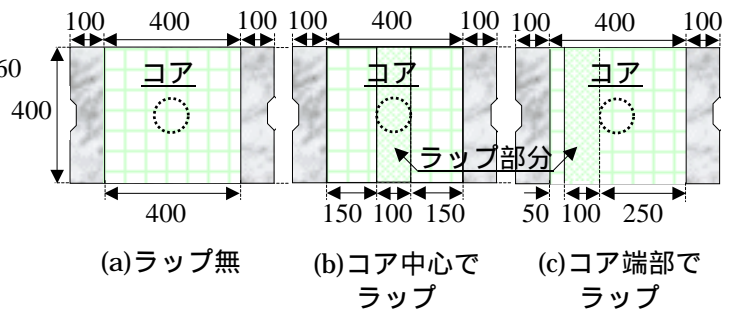


図 - 2 繊維シートの配置状況 (単位:mm)

×600mm)を用いた。剥落防止工を行う以前に、母材である U 形ふたの中央部には、コンクリート用コアカッターにより直径 100mm になるように削孔を行った。削孔は、剥落防止工を行う裏面より垂直に行うとともに、削孔深さは 55±1mm(U 形ふたの厚さ：60mm)とした。なお、U 形ふたの剥落防止工を行う面には、あらかじめウォータージェット法により表面処理を行った。表面処理程度は、粗骨材が見える程度とし、剥落防止工の施工

表 - 4 押抜き試験による最大荷重および各変位段階における荷重

ライニング材	繊維シートの配置状況	載荷時の温度	最大荷重 (kN)	平均荷重(kN)		
				変位(10mm)	変位(20mm)	変位(30mm)
ECC	無	-30	14.3	0.1		
		20	8.3	1.0	0.3	
		60	9.3	1.8	0.7	0.2
	有 (ラップ無)	-30	19.3	4.3	1.6	1.4
		20	11.5	2.6	2.5	2.2
		60	12.5	3.0	2.0	1.5
	有 (コア中心でラップ)	-30	19.8	4.7	3.6	3.9
		20	11.1	2.6	1.8	1.5
		60	12.0	2.7	1.8	1.5
	有 (コア端部でラップ)	-30	17.6	3.5	2.2	1.7
		20	10.1	2.3	1.6	1.5
		60	11.0	2.9	1.7	1.3
PCM	有(ラップ無)	20	8.0	0.8	1.0	1.5

範囲は U 形ふたの中央部の 400×400mm とした。

供試体の作製は、繊維シートを配置した場合、表面処理を行った表面にプライマーを塗り、ライニング材を下塗り(厚さ：約 3mm)後、繊維シートを配置させ、再びライニング材により上塗り(厚さ：約 3mm)を行った。繊維シートを配置しない場合、表面処理を行った表面にプライマーを塗り、厚さ 6mm のライニング材を塗布した。

繊維シートの配置は、図 - 2 に示すように繊維シート 1 枚を配置したもの(繊維シートの寸法：400×400mm)、繊維シート 2 枚をコア中心でラップさせたもの(繊維シートの寸法：400×250mm×2 枚)とコア端部でラップさせたもの(繊維シートの寸法：400×350mm と 400×150mm)の 3 種類とした。

2.3 押抜き試験概要

押抜き載荷試験は、低温及び高温の場合は、現場気中養生における供試体の材齢 40 日目に低温室(-30)及び高温室(60)に入れ 2 日間養生後、それぞれの温度条件下で載荷試験を行った。常温の場合は、現場気中養生における供試体の材齢 30 日目に常温室に入れ 2 日間養生後、常温において載荷試験を行った。

図 - 1 に押抜き試験の載荷概要を示す。供試体の載荷は、剥落防止工を行っていない表面のコア部分を押抜く載荷方法によって行った。変位の計

測箇所は、コアの中央部の 1 箇所と供試体の支幹部を除く両端の中央部の 2 箇所とした。

載荷速度は、最大荷重までは 1mm/min で載荷し、最大荷重以降は 5mm/min とした。コアの中央部における変位 10mm、20mm および 30mm の時、一時的に載荷を中断させ、破壊範囲および破壊程度を観察した。また、載荷終了後、破壊領域の最長軸方向の長さに対して直角方向の長さを測定し、その平均を直径として破壊範囲を算出した。

3. 結果および考察

3.1 荷重による評価

表 - 4 に最大荷重ならびに各変位段階における荷重を平均値として示す。

(1) ライニング材の相違が及ぼす影響

ライニング材が PCM の場合に比べ ECC の場合(シリーズ EP20)、最大荷重および変位 10mm 以上における荷重がともに大きくなった。また、変位 10mm 以上では、ライニング材が ECC の場合(シリーズ EP20)、変位の増加とともに荷重が低下した。一方、ライニング材が PCM の場合、変位の増加とともに荷重も大きくなる傾向となった。

(2) 繊維シートの配置状況が及ぼす影響

繊維シートを配置していない供試体に比べ繊維シートを配置した供試体の場合、いずれの温度条件下でも、最大荷重および変位 10mm 以上における

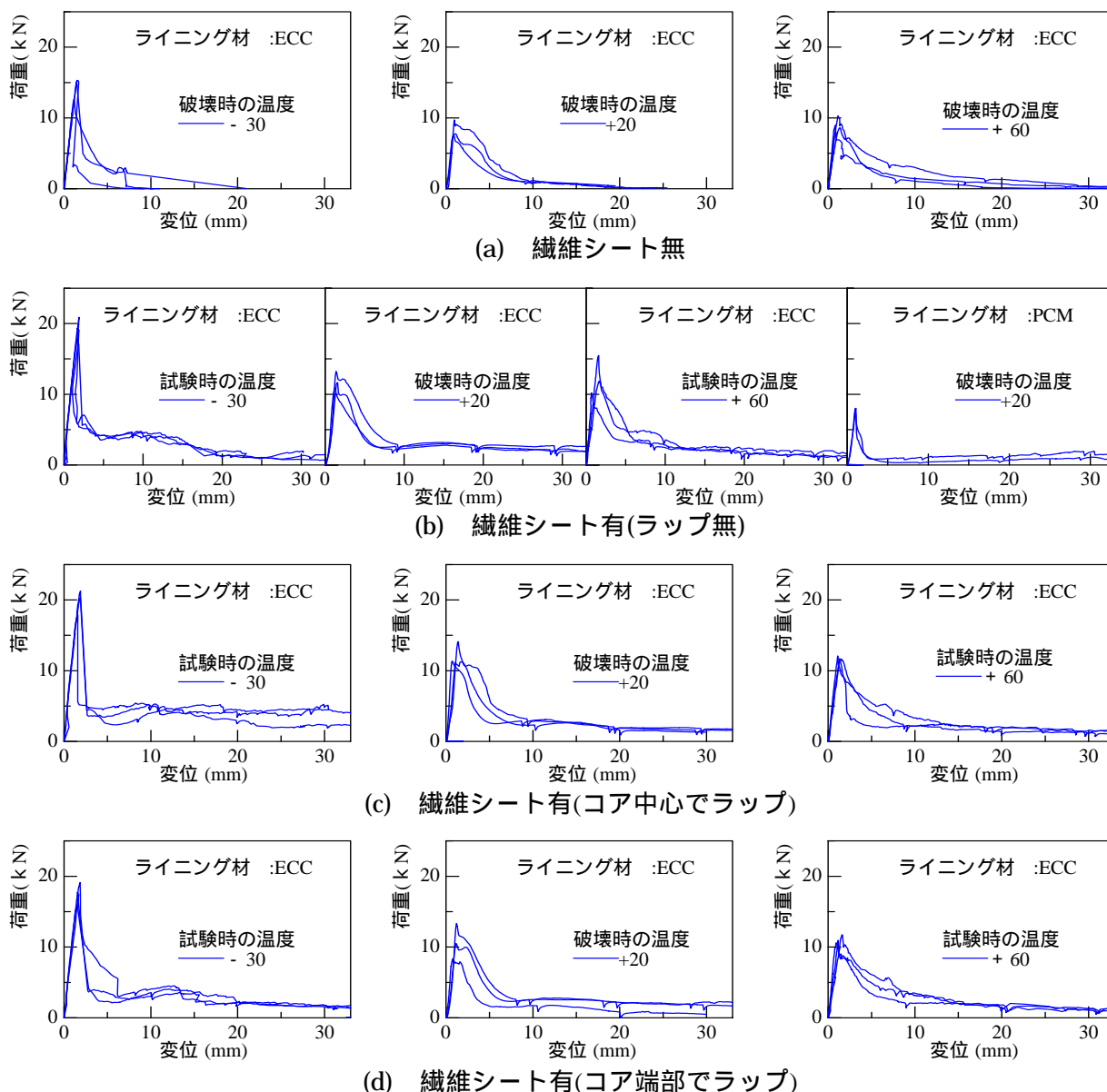


図 - 3 押抜き試験による荷重 変位曲線

荷重がともに大きくなった。また、繊維シートを配置した場合、繊維シートのラップの有無や繊維シートのラップ箇所の違いは、最大荷重や変位 10mm 以上における荷重に大きな影響を及ぼさなかった。

(3) 載荷時の温度が及ぼす影響

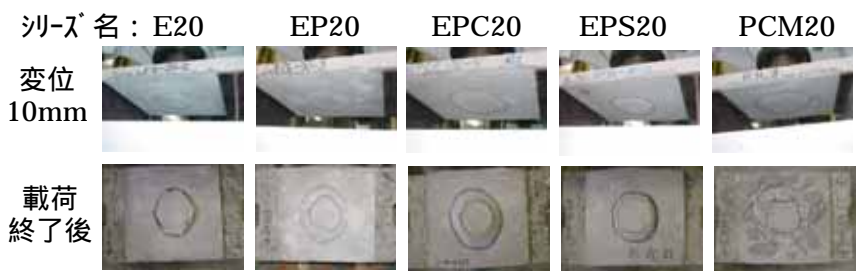
はじめに、載荷時の温度が 20 および 60 の場合を比較する。このときいずれの繊維シートの配置状況においても、温度の相違が最大荷重や変位 10mm 以上における荷重に及ぼす影響はほとんど無かった。

次に、載荷時の温度が -30 の場合と、20 や 60 の場合を比較する。このときの最大荷重につ

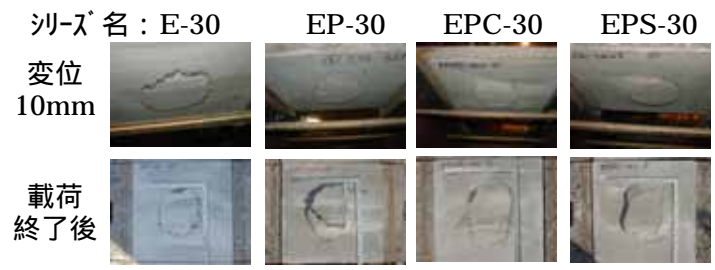
いては、前者が後者の 1.6 倍程度大きくなった。また、変位 10mm 以上における荷重については、繊維シートを配置した場合、前者は後者に比べ大きい傾向であった。しかし、繊維シートを配置していない場合、載荷時の温度が -30、20、60 と高くなるほど、荷重も大きくなった。

3.2 荷重 変位曲線による評価

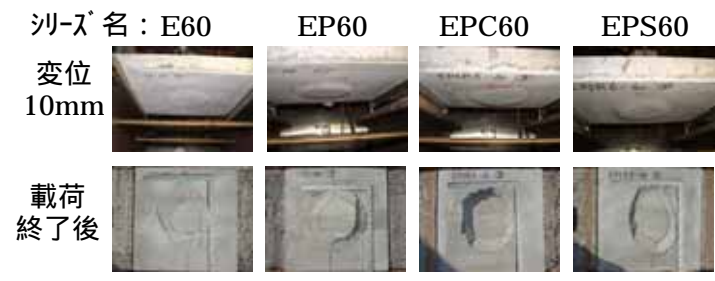
図 - 3 に荷重 変位関係を示す。荷重 - 変位曲線においては、いずれの供試体においても、コア抜きされてない厚さ 5mm の母材コンクリートとライニング材の破壊により、最大荷重直後に一時的に荷重が急激に低下した。



(a) 載荷時の温度 20



(b) 載荷時の温度 -30



(c) 載荷時の温度 60

写真 - 1 破壊状況

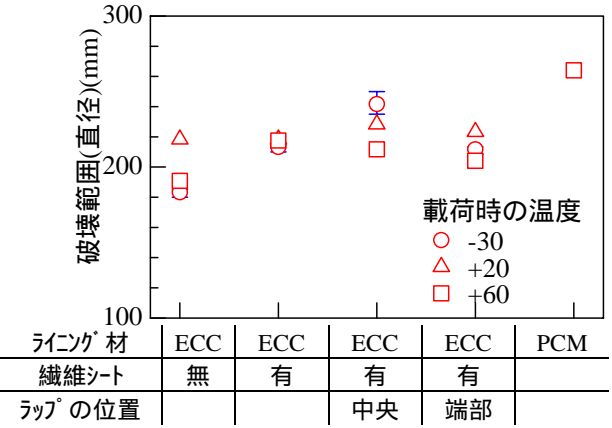


図 - 4 破壊範囲

(1) ライニング材の相違が及ぼす影響
 ライニング材が ECC に比べ PCM の場合、最大荷重は小さいが、最大荷重直後の荷重の低下程度が非常に急激であり、荷重の低下割合も大きくなった。これは、ライニング材が ECC の場合、繊維の架橋効果があるためと考えられる。これより、繊維を混入した ECC をライニング材として用いると繊維の架橋効果により、最大荷重の増加ならびに変形に伴う急激な耐力低下防止に有効であるこ

とがわかる。
 (2) 繊維シートの配置状況が及ぼす影響
 ライニング材が ECC の場合、繊維シートの有無や繊維シートのラップ箇所の違い

が最大荷重直後の荷重の低下程度に及ぼす影響はほとんど無かった。しかし、最大荷重直後の一時的な荷重の急激な低下区間以降(変位 5mm 以上)の荷重 - 変位関係において、繊維シートを配置していない供試体(荷重低下率: 約 0.13kN/mm(60), 0.21 kN/mm (20)と 0.34(-30)kN/mm)に比べ繊維シートを配置した供試体では(荷重低下率: 約 0.1kN/mm(全ての温度条件)), 荷重が繊維シートによって負担されるため、変位の増加に伴う荷重の低下が緩やかであった。

(3) 載荷時の温度が及ぼす影響
 繊維シートを配置した供試体および配置していない供試体ともに、載荷時の温度条件が 20 や 60 の場合に比べ-30 の場合、最大荷重直後の荷重の低下程度が非常に急であった。これは、載荷時の温度が-30 の場合、ライニング材が ECC の場合においても、繊維の架橋応力に比べ初期ひび割れ発生強度が大きいためであると考えられる。このことは、載荷時の温度が 60 や 20 に比べ-30 の場合、最大荷重が非常に大きいことから推定できる。

最大荷重直後の荷重の低下区間以降(変位 5mm 以上)の荷重 - 変位関係は、繊維シートを配置した場合、載荷時の温度条件の違いによる差はほとんど無かった。しかし、繊維シートを配置していない場合、載荷時の温度が-30 のとき、変位 7mm 付近において急激に破壊する結果となった。一方、載荷時の温度が 20 , 60 と高くなるほど、変位の増加に伴う荷重の低下が緩やかであった。これより、繊維シートを配置することにより、温度が低い(-30)条件下においても、最大荷重直後の

荷重の低下は急であるが、変形が大きい区間(変位 5mm 以上)における剥落防止性能はほとんど低下しないことがわかる。

3.3 破壊形態及び破壊範囲による評価

写真 - 1 に変位 10mm および載荷終了後における破壊状況を示す。また、図 - 4 に破壊範囲の直径の平均をバラツキとともに示す。ここで、破壊傾向はライニング材が破壊した後、繊維シートの抜けにより最終的に破壊する傾向となり、繊維シートが切れることは無かった。

(1) ライニング材の相違が及ぼす影響

ライニング材が ECC の場合、繊維の架橋効果により、載荷終了までライニング材切片の剥落は無かった。しかし、ライニング材が PCM の場合、変位 10mm まではライニング材切片の剥落は無かったが、変位 10mm 以上では変位の増加に伴い破壊範囲が広くなり、コア付近部におけるライニング材切片の剥落が生じ、載荷終了時には破壊範囲全領域のライニング材が剥落した。また、載荷終了後の破壊範囲もライニング材が ECC に比べ PCM のほうが広がった。これより、繊維の架橋効果が破壊範囲の抑制にも有効であると考えられる。

(2) 繊維シートの配置状況が及ぼす影響

ライニング材が ECC の場合、繊維シートを配置した供試体および配置していない供試体ともに、ライニング材の切片の剥落は無かった。しかし、繊維シートを配置することにより破壊範囲が若干広がるが、繊維シートのラップの有無やラップの位置の違いによる破壊範囲の差はほとんど無かった。

(3) 載荷時の温度が及ぼす影響

破壊状況および破壊範囲ともに載荷時の温度条件の違いによる差はほとんど無かった。

4. まとめ

ECC と連続繊維シートを組み合わせた剥落防止工法について、低温、常温及び高温の 3 つの気温条件下において、剥落防止性能を押し引き試験により確認した。以下に、得られた結果をまとめた。

(1)ライニング材が ECC の場合、いずれの温度条件

下においても、変位 10mm 以上における荷重が 2 kN と非常に大きくなった。

(2)ライニング材が ECC の場合、ライニング材が PCM に比べ、最大荷重が大きく、最大荷重直後の荷重の低下が緩やかであった。これらは、ライニング材に ECC を用いることにより、繊維の架橋効果が得られたためと考えられる。

(3)ライニング材が ECC の場合、ライニング材切片の剥落は無かった。一方、ライニング材が PCM の場合、変位 10mm 以上では、ライニング材切片が剥落し、載荷終了時には破壊範囲全領域のライニング材が剥落した。なお、ライニング材が ECC の場合に比べ PCM の場合、破壊範囲が広がった。また、繊維シートのラップの有無やラップ箇所の違いによる変位 10mm 以上における荷重、最大荷重および破壊傾向の差はほとんど無かった。

(4)載荷時の温度が -30 の場合、載荷時の温度が 20 や 60 に比べ、最大荷重が 1.6 倍程度大きく、変位 10mm 以上における荷重も若干大きくなった。しかし、最大荷重直後の荷重低下が急であった。

参考文献

- 1)井戸功誠，友清剛，繪鳩武史，河合康統：新材料を用いたコンクリート構造物の補修方法に関する性能評価試験，コンクリート工学年次論文集，Vol. 25, No. 1, pp. 1571-1576, 2003
- 2)Li. V.C.: Reflections on the Research and Development of Engineered Cementitious Composites (ECC), Proceedings of the JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC) – Application and Evaluation -, JCI, 2002.10
- 3)日本コンクリート工学協会：高韌性セメント複合材料を知る・作る・使う，高韌性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書，2002.1