

短繊維補強されたコンクリート製集水蓋の開発

浦野 登志雄* 松田 学** 松本 康資**

井形 友彦** 溝口 稔也**

Experimental Studies on Development of Catchment Lid
Using Short Fiber Reinforced Concrete

Toshio Urano*, Manabu Matsuda**, Yasushi Matsumoto**, Tomohiko Igata**, Toshiya Mizoguchi**

The purpose of this research is to develop the catchment lid of the precast concrete with the durability and the cost performance. At first, material characteristics of the concrete with which various short fiber was mixed were checked. An impact test of the catchment lid made with short fiber reinforced concrete was performed. It was showed that the concrete reinforced with short fiber increases in the strength to the impact. An experimental result of various short fiber reinforced concretes with the same aspect ratio was compared. The flexural toughness of the concrete mixed with polyvinyl alcohol fiber (PVA-fiber) was increased than others. Furthermore, a bending test of the catchment lid manufactured by PVA-fiber reinforced concrete was performed. It was indicated that this product is excellent in the building performance, the durability and the cost performance as a result of the experiment.

キーワード：繊維補強，耐久性，プレキャストコンクリート，集水蓋，曲げ靱性

Keywords : Fiber Reinforcement, Durability, Precast Concrete, Catchment Lid, Flexural Toughness

1. はじめに

集水蓋とは降雨を速やかに道路側溝内に導く表面排水の目的で，蓋本体に集水用のスリット孔が設けられた製品であり，車両荷重に対する疲労耐久性の観点から鋼製蓋（グレーチング）が用いられることが多い。しかし，格子状の鋼製蓋はタイヤとの接地面積が少ないために舗装路面よりも滑りやすく，また，最近ではリサイクル素材として窃取される被害も発生しており，廉価なコンクリート製集水蓋が使用されることも多くなった。

コンクリート製集水蓋に関する明確な規準は定められておらず，実用化されている多くの製品は JIS A 5372「プレキャスト鉄筋コンクリート 附属書 5（規定）路面排水溝類」の上蓋式・落ち蓋式 U 形側溝に用いられる蓋の規格を準用して設計・製造されている⁽¹⁾。

コンクリート製集水蓋の性能照査は，JIS 規格に倣って曲

げ強度試験により安全性を確認しているが，鋼材に比べて強度特性や疲労耐久性が劣るために，高強度コンクリートやレジンコンクリートを用いて強度改善を図ったり，「取替えが比較的容易」という製品の位置付けから，通常コンクリートで製造するなど，各社の設計思想によって製品仕様が様々である⁽²⁾。

コンクリート製集水蓋にみられる苦情の多くは，小石などの異物が集水孔に挟まって，通行車両による繰り返し荷重を受けて発生するひび割れや断面欠損であり，これらの改善が製品の耐用年数とともに使用者満足度の向上に繋がると思われる。

短繊維補強コンクリートは，これらの性状改善に最も効果があり，用途に応じて鋼繊維，ガラス繊維，炭素繊維および有機系繊維が使用されているが，近年では廉価で施工性に優れた有機系繊維の利用が拡大している。そこで，本研究では有機系短繊維を用いたコンクリートの基本物性を把握し，耐久性と経済性のバランスに配慮したコンクリート製集水蓋の開発に資する知見を得ることを目的とした。

* 建築社会デザイン工学科
〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627
Dept. of Architecture and Civil Engineering,
2627 Hirayama-Shinmachi, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan
866-8501

** (株)ヤマックス
〒862-0950 熊本県熊本市水前寺 3 丁目 9 番 5 号
Department of Research and Development, Yamax Corporation.
9-5, Suizenji 3-chome, Kumamoto-shi, Kumamoto, Japan
862-0950

2. 実験方法

2.1 コンクリートの調査

(1) 使用材料および配合

表 1 にコンクリートの使用材料，表 2 に短繊維の物性値および写真 1～5 に使用繊維の外観を示す。結合材は，普通ポルトランドセメントと，流動性を付与する目的で混和材にフライアッシュを用いた。有機系短繊維は，繊維径の異なるビニロン繊維の PVA1 と PVA2，また PVA2 と同様なアスペクト比（繊維長さ／繊維径）を有するポリプロピレン繊維（PP）およびポリエチレンテレフタレート繊維（PET）とし，比較用としてステンレス鋼繊維（S）を用いた。なお，PET 繊維と PP 繊維については，付着性状を改善する目的で表面にエンボス加工が施されている。

表 3 にコンクリートの示方配合と材料費の比率を示す。繊維添加による流動性の低下を考慮して，スランプフローの目標値を 80cm とした粉体系高流動コンクリートを基本配合とし，繊維をそれぞれ 1vol.% 添加した。

(2) 各種強度試験方法

各種繊維補強コンクリートの基本物性を評価することを目的に圧縮強度試験，割裂引張強度試験および曲げ靱性試験を行った。

圧縮強度試験および割裂引張強度試験は，φ100×200mm の円柱供試体を使用し，それぞれ JIS A 1108，JIS A 1113 に準じて行った。なお，圧縮強度試験時には JIS A 1149 に従い，弾性係数の測定（コンプレッソメータ法）も併せて行った。

曲げ靱性試験は，100×100×400mm の角柱供試体を使用し，JCI-SF4「繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフ

表 1 コンクリートの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm ³ ）
混和材	フライアッシュⅡ種（密度：2.34g/cm ³ ）
細骨材	洗浄海砂（密度：2.58g/cm ³ ）
粗骨材	碎石（密度：2.75g/cm ³ ，最大寸法 13mm）
混和剤	高性能減水剤
練混ぜ水	上水道水（地下水）

表 2 短繊維の物性値

記号	公称径 (mm)	繊維長 (mm)	アスペクト比	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)
PVA1	0.2	18	90	975	27	1.3
PVA2	0.66	30	45	900	23	1.3
PP	0.7	30	43	500	—	0.91
PET	0.7	30	43	450	20 以上	1.32
S	0.46	25	54	450 以上	200	7.7

表 3 示方配合と材料費の比率

記号	W/B (%)	s/a	単位容積質量 (kg/m ³)					Fi (kg)	繊維本数 (万本)	材料費の比率
			W	P		S	G			
				C	FA					
N							—	—	1.0	
PVA1	33	0.50	195	384	207	735	771	13	1842	2.8
PVA2								13	118	3.6
PP								9.1	85	2.1
PET								13.2	86	2.6
S								77	257	5.0

注 1) 高性能減水剤の添加量は $P \times 0.6 \sim 0.8\%$ で適宜調整した。
 注 2) 消泡剤の添加量は $P \times 0.001 \sim 0.002\%$ で適宜調整した。
 注 3) 繊維添加量：1vol.%

表 4 示方配合

種類	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Fi (kg)	
			W	C	FA	S	G		Air
NC	39	37	175	344	100	622	770	2.0	—
PVA1	33	50	195	384	207	735	770	2.0	13
HC	43	45	130	303	—	867	1079	5.0	—

注 1) NC：通常コンクリート，PVA1：PVA1 繊維補強コンクリート，HC：高強度コンクリート

注 2) 有機繊維補強モルタル (FRM) とレジソコンクリート (RG) は不明

注 3) PVA1 の繊維添加量：1vol.%



写真 1 PVA1



写真 2 PVA2



写真 3 PP



写真 4 PET



写真 5 S

ネス試験方法」⁽³⁾に準じて，荷重－スパン中央たわみ関係を測定し，曲げ強度，曲げタフネス，換算曲げ強度を求めた。なお，すべての供試体は同日に打設を行い，翌日脱型後，試験材齢 14 日まで試験室内で気中養生とした。

(3) 耐衝撃試験方法

図 1 に耐衝撃試験方法を示す。本実験は，JIS A 1408（建築用ボード類の曲げおよび衝撃試験方法）を参考とした。適度に締め固めた砂層上に供試体（300×300×60mm）を設置し，2kg の鋼球を 1.0m の高さから自然落下させて，落下回数と供試体の破壊性状を目視により確認した。落下回数は 100 回を上限とし，破壊時もしくは 50 回時，100 回時のひび割れ性状および破壊性状について観察を行った。

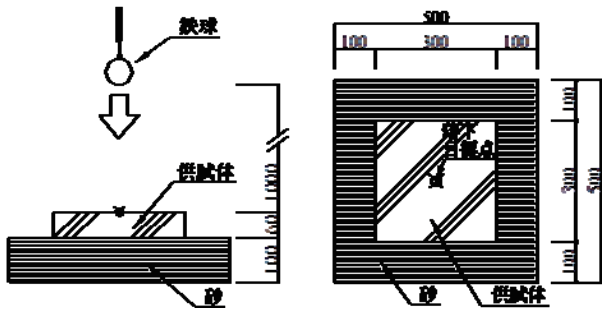


図1 耐衝撃試験方法

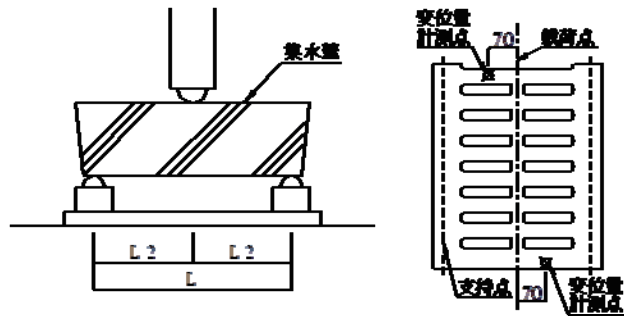


図2 曲げ载荷試験

2.2 集水蓋の载荷試験

表4にコンクリートの示方配合, 図2に集水蓋の载荷試験方法を示す. 供試体は, 呼び名300の落ち蓋式U形側溝に相当するコンクリート製集水蓋とし, 供用時に作用するT25活荷重(後輪1輪縦断)の設計荷重値を満足する版厚・配筋量とした. コンクリートには, 設計基準強度30N/mm²の通常コンクリート(NC)および繊維補強コンクリート(PVA1)による供試体をそれぞれ作製し, 比較として既に実用化されている高強度コンクリート(HC), 有機繊維補強モルタル(FRM)およびレジコンクリート(RG)による集水蓋についても実験に供した. なお, これらの供試体は市場の流通製品を購入したものであり, 材料特性や設計条件等の詳細は不明である.

载荷試験は, JISA5372「推奨仕様E-3落蓋式U形側溝」に準拠し, 加圧面ならびに支持面にゴム板を設置してス

パ中央に荷重を与えた. 試験荷重値は, JIS規格の荷重値(3種)とともに, T25活荷重(後輪1輪縦断)による設計荷重値に対して, 幅0.05mm以上の曲げひび割れが発生しないことを性能照査の判断基準とした. 測定は, 载荷治具の都合からスパン中央位置から70mmずらして载荷時の変形量を測定した.

3. 実験結果

3.1 繊維補強コンクリート

(1) 各種強度試験

表5に繊維補強コンクリートのフレッシュ性状を示す. 短繊維を混入することにより, スランプフロー値が低下するものの, 施工性に問題は認められなかった.

表5 フレッシュ性状の結果

	N	PVA1	PVA2	PP	PET	S
スランプ (cm)	—	16.0	23.5	23.5	22.5	22.5
スランプ フロー (cm)	77	32	47	47	46	45
空気量 (%)	—	1.0	0.2	0.4	0.4	0.2
温度 (°C)	23	24	24	23.5	24	23

表6 各種強度試験結果

	N	PVA1	PVA2	PP	PET	S
圧縮強度(N/mm ²)	56.6	56.1	54.9	54.5	58.4	56.3
曲げ強度(N/mm ²)	5.37	5.79	6.21	5.98	5.84	8.11
換算曲げ強度(N/mm ²)	—	3.27	4.47	3.73	4.14	4.49
割裂引張強度(N/mm ²)	2.85	3.07	3.84	3.63	3.67	5.15
弾性係数(kN/mm ²)	31.3	30.2	33.2	31.1	31.3	32.2

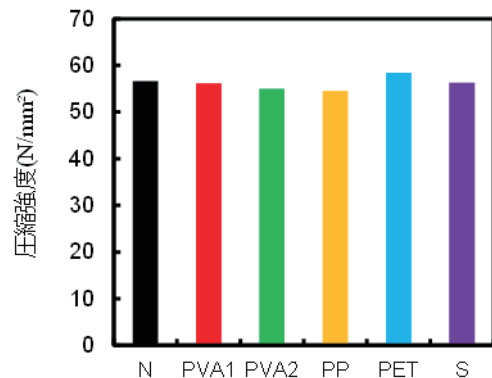


図3 圧縮強度試験結果



写真6 PVA1スランプ状況



写真7 供試体形状

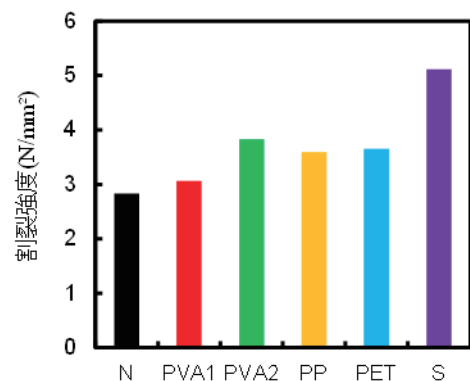


図4 割裂引張強度試験結果

表 6, 図 3, 図 4 に各種強度試験結果を示す。繊維混入による圧縮強度および弾性係数に明確な差は認められないが、割裂引張強度および曲げ強度には顕著な増加が認められた。割裂引張強度は、基準コンクリートに対して有機系繊維 (PVA, PP, PET) で 8~35%, ステンレス鋼繊維 (S) で 81%大きくなり、曲げ強度も同様に有機系繊維 (PVA, PP, PET) で 8~15%, ステンレス鋼繊維で 51%大きくなった。ステンレス鋼繊維には及ばないものの、有機系短繊維を用いることで圧縮強度や弾性率を低下させることなく、割裂引張強度および曲げ強度を向上できることは、実製品の性能改善面に含めて設計面や経済面から考慮しても大きな利点である。

図 5 に曲げ荷重-スパン中央たわみ関係の測定結果を示す。図より有機系繊維の場合、曲げひび割れ発生後、繊維の弾性係数がコンクリートマトリックスより小さいことに起因して一旦荷重が低下し、その後繊維によるひび割れ面における繊維架橋、引き抜きにより延性的な挙動を呈する。これに対してステンレス鋼繊維は、繊維の物性値がコンクリートよりも大きいために、ひび割れ発生後も荷重が大きく増加している。

図 6 に曲げ強度および換算曲げ強度試験結果を示す。ここで換算曲げ強度とは、供試体の荷重-スパン中央たわみ曲線下の面積によって表される曲げタフネスを、スパンの 1/150 を限界点とした変位 (スパン 300mm に対して 2mm) で除して限界点に至る間の平均荷重を求め、これを曲げ強度に換算したものであり、靱性指標の一種として定義されている²⁾。図より、同様なアスペクト比を有する PVA2, PP および PET の有機系繊維で比較すると、PVA2 が相対的に高い靱性を有している。これに対して、同じ PVA 繊維でアスペクト比が大きな PVA1 は、PVA2 に比べて換算曲げ強度が小さくなった。

曲げ破壊面を観察すると、PVA1 は多数の繊維が確認されるが、その多くは破断しており、ひび割れの分散・偏向がほとんど確認されない。PVA2 は繊維破断が少なく、繊維架橋、引き抜き作用によるひび割れの分散・偏向が観察された。繊維長に対して繊維径が小さくなると、付着力の増加にともない繊維が破断しやすくなるために、PVA1 では繊維径が小さすぎて繊維架橋や引き抜きが効果的に作用せずに破断してしまい、PVA2 よりも曲げ靱性が低下したと考えられる。したがって、有機系短繊維によるコンクリートの曲げ靱性の向上には、繊維架橋や引き抜きを効果的に作用させるために、付着特性に応じて繊維破断が生じにくい適切な繊維径を選定する必要がある。

(2) 耐衝撃試験結果

表 7 に耐衝撃試験結果を示す。供試体 N が 3 回の落球で破壊に至ったのに対して、繊維を混入させた全ての供試体

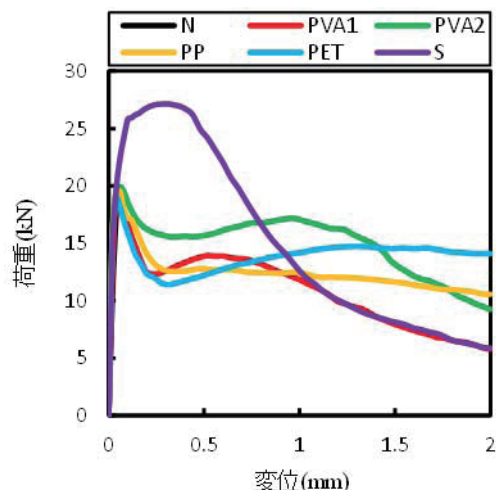


図 5 荷重-スパン中央たわみ関係

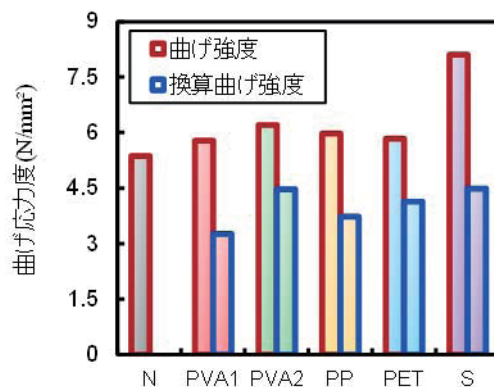


図 6 曲げ・換算曲げ強度試験結果

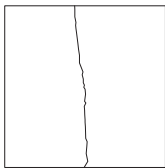
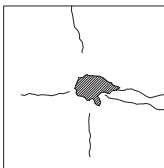


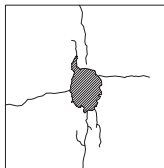
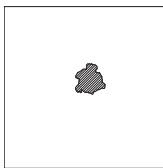




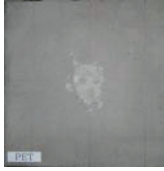

は 100 回の落球で破壊せず、繊維補強による耐衝撃性の改善効果が確認された。

繊維補強コンクリートについても落下回数の増加にともない、衝撃による破損面積が増加するが、ステンレス鋼繊維を用いた供試体 S では 100 回の落球後もひび割れはみられず、破損面積が最も小さくなった。

ステンレス鋼繊維は、有機系繊維に比べて弾性係数がきわめて高く、前述したように曲げ強度や割裂引張強度の改善効果が最も大きい。耐衝撃試験についても最も優れた結果を示しているが、供用時にコンクリートが摩耗した場合、露出した繊維による車両タイヤへの悪影響が危惧されるなど、運用面と経済面で適用は難しいものと考えている。

同様なアスペクト比を有する PVA2, PP および PET の有機系繊維で比較すると、PP, PET, PVA2 の順で、ひび割れや破損面積が小さくなった。水酸基を有する PVA は親水性を呈し、繊維とコンクリートマトリックス間の摩擦応力が大きく、更にセメントとの化学付着による応力が加わって最も付着特性に優れている⁴⁾ ⁵⁾。これに対して、水との親和性に最も劣る PP は表面加工により付着特性の改善を図ってはいるものの、PVA や PET と比較して期待するほどの効

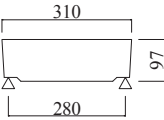
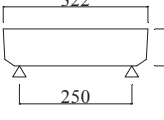
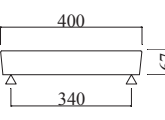
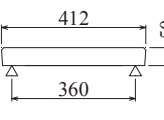
表7 耐衝撃試験結果

	N	PVA1	PVA2	PP	PET	S
繰り返し 落球回数	3※1	100	100	100	100	100
50回落球時 破損面積率 (%)	—	—※2	1.1	2.5	2.0	1.1
100回落球時 破損面積率 (%)	—	2.7	2.6	8.7	4.0	2.2
50回→100回 破損進展率	—	—	+1.5%	+6.2%	+2.0%	+1.1%
100回落球時 最大破損深さ	—	3.5mm	7.0mm	20.0mm	6.0mm	8.0mm
供試体の 破損状況						
供試体性状 (写真)						

※1 供試体 N は 3 回目の落球で破壊した。

※2 計器不良により未計測

表8 集水蓋の曲げ載荷試験結果

供試体区分	N	PVA	HC	FRM	RG	
形状図						
材料特性値(N/mm ²)	38.6	59.5	$\sigma_{ck}=50$	$\sigma_{ck}=45$	$\sigma_{ck}=90$	
スパン L (mm)	280		250	340	360	
T25 設計荷重	Pstn	15.7 kN				
	Mstn	1.099 kN・m				
JIS (3種) 規格荷重	Pstn	33.8kN				
	Mstn	2.363kN・m				
曲げひび割れ 荷重値	Pcr	37 kN	49 kN	40 kN	35 kN	33 kN
	Mcr	2.59 kN・m	3.43 kN・m	2.50 kN・m	2.98 kN・m	2.97 kN・m
安全率: T25 (Mcr/Mstn)	2.4	3.1	2.3	2.7	2.7	
安全率: JIS (Mcr/Mstn)	1.1	1.5	1.1	1.3	1.3	
最大耐力値	Pmax	85 kN	101 kN	203 kN	90 kN	89 kN
	Mmax	5.95 kN・m	7.07 kN・m	12.69 kN・m	7.65 kN・m	8.01 kN・m
安全率: T25 (Mmax)	5.4	6.4	11.5	7.0	7.3	
安全率: JIS	2.5	3.0	5.4	3.2	3.4	

注1) 材料特性値: 供試体 HC, FRM および RG は設計基準強度を示す。

注2) T25 (Mcr/Mstn): T25 設計時作用モーメント/実験値モーメント, JIS (Mcr/Mstn): JIS 規格荷重モーメント/実験値モーメント

果は得られず、これらの付着特性と繊維の物性値の差が破損状況に影響を与えたと考える。

同一成分で繊維径の異なる PVA1 と PVA2 の比較では、100 回落球時の破損面積率に差は認められないが、破損深さは PVA1 が PVA2 の半分程度となった。曲げ強度、換算曲げ強度ならびに割裂引張強度の改善効果は繊維径が大きい

PVA2 の方が高いが、耐衝撃性については PVA1 が良好な結果を示している。

PVA1 は繊維径が細く、単位容積当たりの繊維本数は PVA2 に比べて 15~16 倍相当が添加していると概算され、繊維本数が多いほどひび割れ分散効果に対して有利である。また、繊維径が太く、繊維長が長いほど、コンクリー

トマトリックスと繊維の弾性係数の差による変形量に違いが生じて剥離が発生しやすくなることも考えられる。

3.2 集水蓋の載荷試験

表 8 に集水蓋の載荷試験に用いた供試体の曲げ載荷試験結果、図 7 に曲げモーメントと変位の関係を示す。なお、供試体によって載荷スパンが異なるため、図中には JIS 規格荷重 (3 種) と T25 活荷重 (後輪 1 輪縦断) による設計荷重を曲げモーメントに読み替えて示した。

載荷試験の結果、すべての供試体で JIS 規格荷重および設計時荷重に対して、曲げひび割れが発生せずに構造安全性を満足することを確認した。PVA 供試体と N 供試体を比較すると、曲げひび割れ耐力で 32%、最大耐力で 19%大きくなっており、施工性改善のために用いた粉体系高流動コンクリートの高強度化とともに繊維補強による効果が認められた。JIS 規格荷重に対するひび割れ耐力の安全率は、N 供試体で 1.1、PVA 供試体で 1.5、HC 供試体で 1.1、FRM 供試体で 1.3 および RG 供試体で 1.3 であり、PVA 供試体が最も大きくなった。

比較用の供試体は、HC、FRM、RG 供試体の順で版厚の薄肉化が図られているが、N および PVA 供試体に比べて 4～4.5 倍相当の鉄筋量が配筋されており、材料の高強度化や曲げ強度改善とともに鉄筋による曲げ補強によって、曲げ性能が確保されている。鉄筋量を考慮した等価断面に換算すると、RG 供試体を除いてほぼ同等であることが算出されている。RG 供試体については等価断面積が 30%程度小さいが、レジンコンクリートは 15～20N/mm²の曲げ強度を有しており、版厚の薄肉化を実現するに至ったと考える。しかし、通常コンクリートに比べると、部材剛性はやや小さくなる傾向にあることから、本実験においても同一荷重時の変位量は他の供試体よりも大きくなっている (図 7 参照)。

一方、最大耐力は、HC、RG、FRM、PVA、N 供試体の順で大きくなった。最大耐力は、材料強度、版厚、断面形状 (スリット孔の大きさ・配置数を含む) ならびに配筋量による断面剛性の影響が支配的であり、これらの供試体の諸特性が反映された結果といえる。

ところで、コンクリート構造物を設計する場合、ある設計条件に対して材料強度、鉄筋量および版厚等のパラメータの選択によって形状寸法は大きく異なってくる。これらのパラメータの組合せは多岐にわたり、設計者もしくは各社の設計思想によって製品仕様によや違いが生じてくる。

一般に、経済性を重要視する場合にはコンクリートの版厚確保を優先し、薄版化・軽量化を重要視する場合には材料の高強度化や鉄筋量増加により構造安全性を確保することが多い。プレキャスト製品は、重量や搬送上の制限があるために後者を優先することが多く、既存の集水蓋にもこのような各社の思想が伺える。

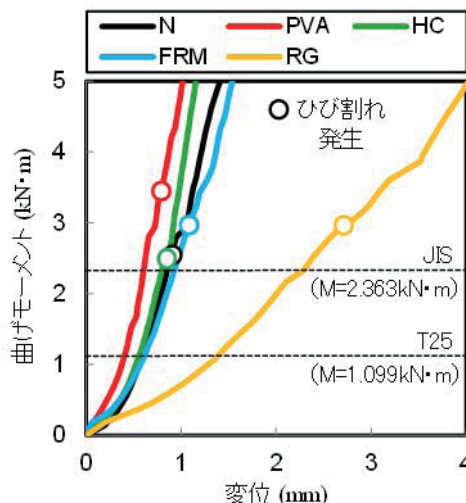


図 7 曲げモーメントと変形量の関係

今般の静的曲げ載荷試験では、すべての供試体で設計荷重ならびに JIS 規格荷重の曲げひび割れ強度を満足することを確認した。しかし、前項の耐衝撃試験の結果を鑑みて、供用時の繰り返し荷重に対する耐久性については、繊維の有無や材料特性等によって大きく異なることが指摘される。PVA 供試体とともに、FRM 供試体や RG 供試体においても、良好な耐衝撃性能を有するものと考えられるが、スリット孔等の形状や配置等を含めて、製品形状の供試体による耐衝撃性能の評価について今後検討する予定である。

本実験で試作した N 供試体と PVA 供試体の運用面を踏まえて考慮した場合、材料費は PVA 供試体が約 3 倍となるが、通常コンクリートを用いた際の蓋の取替え作業にかかる経費 (製品費、労務費、交通費等) を含めると、十分に経済的な製品が供給できるものと思われ、LCC 低減効果を含めて実用化の検討を行いたい。

4. まとめ

本研究では、耐久性および経済性に優れたプレキャストコンクリート製集水蓋の開発に資する知見を得ることを目的として、有機系短繊維を用いたコンクリートの基礎物性および集水蓋の曲げ性能について実験的検討を行った。その結果、次のことが明らかになった。

- 1) 有機系およびステンレス鋼の短繊維を 1vol.% 混入したコンクリートの強度試験の結果、圧縮強度や弾性係数には明確な差が認められなかった。しかし、割裂引張強度は、基準コンクリートに対して有機系繊維で 8～35%、ステンレス鋼繊維で 81%大きくなり、曲げ強度は有機系繊維で 8～15%、ステンレス鋼繊維で 51%大きくなり、顕著な効果を確認した。
- 2) PVA1 と PVA2 の曲げ靱性試験から、有機系短繊維によるコンクリートの曲げ靱性の向上には、繊維架橋や引き抜き

を効果的に作用させるために、付着特性に応じて繊維破断が生じにくい適切な繊維径を選定する必要があることが分かった。

3) 耐衝撃試験の結果、同様なアスペクト比を有する有機系繊維の中では、PVA 繊維が最も良好な耐衝撃性能を示した。

4) 繊維長および繊維径の異なる PVA1 と PVA2 の比較では、割裂引張強度および曲げ強度の改善効果は、繊維径が大きい PVA2 の方が高くなった。しかし、耐衝撃試験では、単位容積当たりの繊維本数が多い PVA1 の方が最大破損深さは小さくなった。

5) 集水蓋の載荷試験の結果、PVA 繊維を添加した供試体は、通常コンクリートによる供試体に比べて、曲げひび割れ耐力で 32%、最大耐力で 19%大きくなり、短繊維による補強効果が認められた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、九電産業（株）よりフライアッシュの提供をいただきました。また、実験に際しまして、（株）ヤマックス松橋工場のスタッフならびに建築社会デザイン工学科の卒研生諸氏に協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

(平成 28 年 9 月 26 日受付)

(平成 28 年 12 月 7 日受理)

参考文献

- (1) 日本規格協会：プレキャスト鉄筋コンクリート製品 (JIS A 5372) (2010)
- (2) 伊藤広昭, 松岡智, 竹村和晃, 川上洵：車両荷重を受けるレジンコンクリート集水蓋の構造特性, 土木学会東北支部技術研究発表会, pp.559-560 (2008)
- (3) 日本コンクリート工学会編：繊維補強コンクリートの曲げ強度及び曲げタフネス試験方法(JCI-SF4), JCI 規準集 2004, pp.66-72 (2004)
- (4) 清田雅量, 三橋博三, 閑田徹志, 川又篤：セメント系複合材料における繊維の付着特性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.187-192 (2001)
- (5) 小澤国大, 国枝稔, 閑田徹志：超高強度マトリクスに埋込まれた有機系繊維の付着特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.231-236 (2008)