短繊維混入表面被覆材を適用したコンクリートの鉄筋腐食ひび割れ性状の検討

京都大学　学生会員　○東和田　真之　コニシ（株）　非会員　堀井　久一
京都大学　正会員　高谷　哲　京都大学　正会員　山本　貴士
京都大学　フェロー会員　宮川　豊章

1. 研究目的

本研究では，短繊維を混入した表面被覆材を適用したかぶりコンクリートの鉄筋腐食にともなうひび割れの発生，進展特性について，鉄筋腐食膨張圧を模擬した載荷試験をもとに検討した．

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体の正面図および側面図，平面図を**図－1** に示す．供試体は幅×高さ×奥行き（厚さ）＝150×400×400 mm とした．異形鉄筋 D19 を 150mm ピッチで配筋し，供試体中央部には，腐食膨張をモデル化するためのシリコンゴム弾性体を挿入するための円柱空洞を設けた．

2.2 実験要因

表面被覆材に混入する短繊維には，ビニロン繊維の繊維長 6mm および 12mm と，ガラス繊維の繊維長 6mm および 12mm を用いた．繊維の力学的特性を**表－1** に示す．また繊維混入前後の硬化体の力学特性を**表－2** に示す．樹脂には一般的な弾性係数（2.7N/mm^2）をもつエポキシ樹脂を用い，繊維は，質量比 2%で混入した．表面被覆材の適用量は 0.26kg/mm^2 とし，厚さは 1mm とした．供試体は各要因 2 体ずつ作製した．

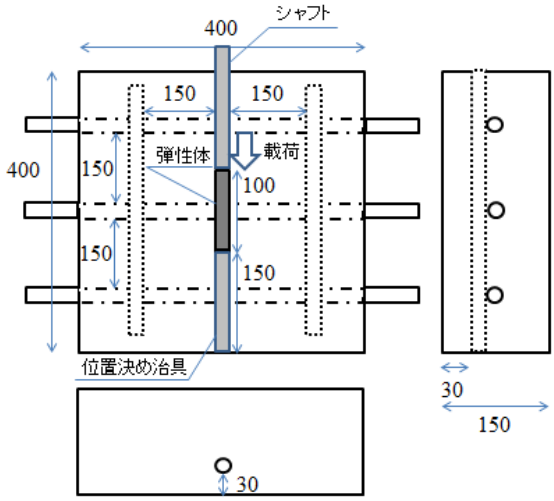
2.3 載荷方法および測定項目

載荷は**図－1** のシリコンゴム弾性体（弾性係数 E=1.39N/mm^2，ポアソン比 ν＝0.49）に鉛直下向きの変位を 0.01mm/s で与えることで行った．測定項目は荷重，シャフトの鉛直変位，かぶりコンクリート中央部の水平（面外方向）変位とした．またひび割れ性状を目視および打音によって確認した．

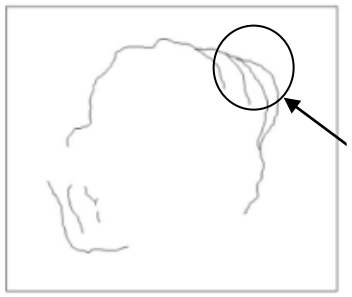
3. 実験結果および考察

3.1 破壊性状

本実験で見られた代表的なはく離性状を**図－2** に示す．すべての供試体でかぶり面内にはく離片を生じるはく離破壊となった．しかし，このかぶりと鉄筋径の比においては，シリコンゴム弾性体からかぶり面に垂直な線とある角度を持って進展するひび割れ（以下，はく離ひび割れ）に先行して発生することの多い軸方



図－1　供試体の形状・寸法（単位：mm）



図－2　はく離性状の一例

表－1　繊維の力学特性

	繊維長	引張強さ	伸び
ビニロン	6mm	f_u=1.5GPa	6%
	12mm	E_f=35GPa	
ガラス	6mm	f_u=1.5GPa	4%
	12mm	E_f=74GPa	

表－2　表面被覆材の力学特性

繊維	引張強度(N/mm^2)	伸び(%)
なし（樹脂のみ）	1.5	95.0
ビニロン6mm	2.1	40.0
ビニロン12mm	1.2	37.0
ガラス6mm	1.0	42.0
ガラス　12mm	1.2	73.0

キーワード　鉄筋腐食，腐食ひび割れ，はく離，表面被覆材，短繊維
連絡先　〒615-8540　京都市西京区京都大学桂 C1-458　TEL：075-383-3173　FAX：075-383-3177

向のひび割れが見られなかった．また，**図－2** に示すように最初にコンクリート部分の表面に達したひび割れ位置よりも，さらに外側にひび割れが進展していく様子が確認できた．はく離ひび割れが開口し，はく離片が面外方向に変形していくのに対して，表面被覆材が追従することで外縁部に引きはがし力が作用して，ひび割れがさらに進展したと考えられる．

3.2 ひび割れ角度

載荷終了後のはく離片を用いて測定したはく離ひび割れ角度を**表－3** に示す．ひび割れ角度は，シリコンゴム弾性体周辺の骨材や強度の分布の影響で変化すると考えられ，供試体表面に存在する表面被覆材の種類による明確な傾向はみられなかった．すなわち，はく離ひび割れの発生角度に対する表面被覆材適用の影響は小さいと考えられる．

3.3 水平変位と半径変化量の関係

水平（面外方向）変位と弾性体のポアソン効果に伴う半径変化量 [1)]の関係を**図－3** に示す．いずれの繊維においても，同一の半径変化量における水平変位が，樹脂単体と同程度かそれよりも小さくなっている．すなわち，同じ腐食量に対して，かぶりの面外変形を小さく抑えることができると考えられる．ビニロン繊維を混入したものでは，繊維長 6 mm で水平変位の増加し始める半径変化量が若干大きくなっている．硬化後の引張強度が樹脂単体よりも大きくなっていることで，かぶりの面外変形の開始が遅くなったと考えられる．一方，かぶりの水平変位が発生して以降では，繊維長 12mm で水平変位の増加量が若干小さくなっている．長い繊維を混入することで，コンクリートのひび割れから樹脂に進展した亀裂に対して繊維の架橋効果が発揮され，半径変化量の増加に対する水平変位の増加が小さく抑えられたと考えられる．ガラス繊維においても同様の傾向が現れているが，繊維長 6mm においても，水平変位が発生して以降の水平変位の増加量は，繊維 12mm と同程度に小さくなっている．ビニロンよりも繊維の弾性係数が大きいことから，樹脂の亀裂の幅が抑制できたと考えられる．また，樹脂とガラス繊維の付着がよく，架橋効果が持続した可能性もある．さらに，繊維長 12mm の終局の水平変位は他より大きく，かぶりコンクリートの面外変形が大きくなる状態まで腐食膨張圧に抵抗できるといえる．

4. 結論

本研究の範囲内で得られた主な結果をまとめて結論とする．

(1)腐食ひび割れの発生角度に与える表面被覆材の影響は小さい．

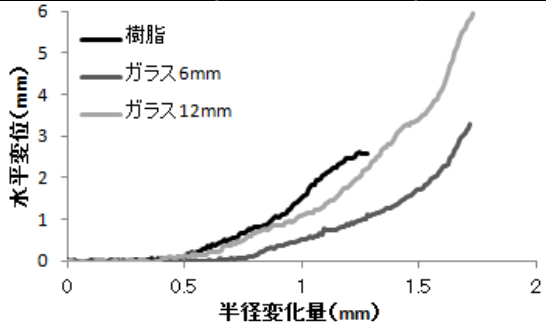
(2)エポキシ樹脂に短繊維を混入した表面被覆材を適用することにより，同じ鉄筋の腐食量に対してかぶりのはく離にともなう面外変形を小さく抑えることができる．

(3)ビニロンよりも弾性係数の大きなガラス繊維を混入することで，繊維長によらず，鉄筋の腐食量の増加にともなうかぶりの面外変形の増加を小さく抑えることができる．特に、繊維長の長いもので大きなかぶり面外変形に至るまで腐食膨張圧に抵抗できる．

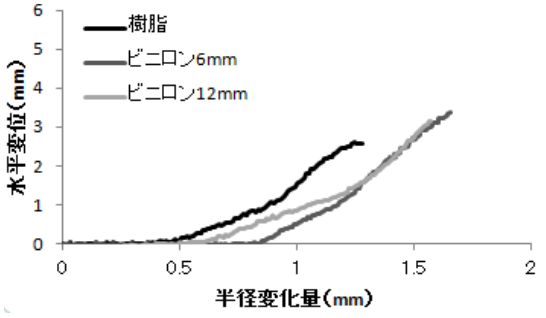
参考文献 1）高谷哲ら：弾性体を用いた鉄筋腐食膨張圧モデル化の実験的検証，土木学会年次講演会，5-275，pp.551-552，2004

表－3 ひび割れ角度の結果

表面被覆材	ひび割れ角度(°)	
	①	②
樹脂単体	60.7	76.4
ビニロン6mm	62.1	66.3
ビニロン12mm	51.0	70.2
ガラス6mm	76.9	80.3
ガラス12mm	68.0	60.2



(a) ビニロン繊維



(b) ガラス繊維

図－3 かぶりの水平変位と半径変化量の関係