

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、進展特性を明らかにすることを目的として、鉄筋腐食膨張圧を模擬した载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、上面図を図-1に示す。供試体は幅×高さ×奥行き(厚さ) = 150×400×400mm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、腐食膨張モデル化用のシリコンゴム弾性体を挿入する円柱空洞を設けた。

2.2 実験要因

実験要因を表-1に示す。表面被覆材として、一般的な弾性係数(E=2.7N/mm<sup>2</sup>)をもつエポキシ樹脂(剛タイプ)と、それより弾性係数の小さい(E=1.5N/mm<sup>2</sup>)エポキシ樹脂(軟タイプ)を用いた。混入する短繊維として、ビニロン(f<sub>u</sub>=1.5(GPa), E<sub>f</sub>=35(GPa))6mmおよび12mmを用い、質量比2%で混入した。混入前後の硬化体の力学特性を表-2に示す。表面被

覆材の適用量は0.26kg/m<sup>2</sup>とし、厚さは1mmとした。

2.3 载荷方法および測定項目

载荷は図-1のシリコンゴム弾性体(弾性係数E=1.39N/mm<sup>2</sup>, 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。さらに载荷終了後の供試体とはく離片を用いて、それぞれはく離面積とひび割れ角度を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 破壊性状

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、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向ひび割れが見られなかった。また、図-2に示すように、ひび割れが、最初にコンクリート部分の表面に達した位置よりもさらに外側に進展していく様子が確認できた。

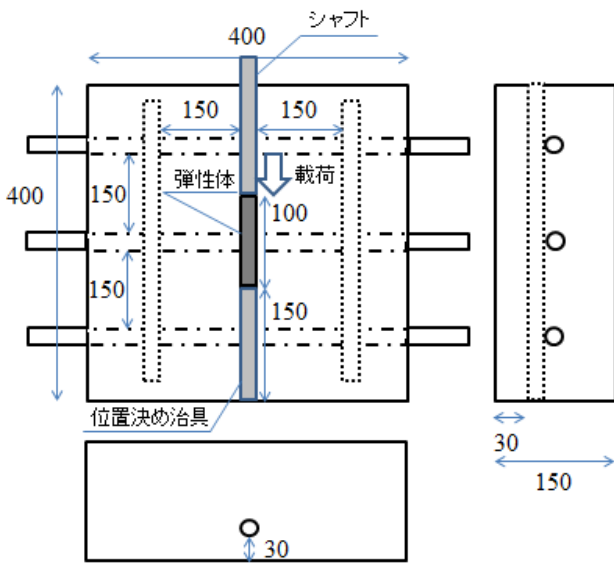


図-1 供試体の形状・寸法 (単位: mm)

表-1 実験要因

樹脂	軟タイプ, 剛タイプ
繊維長	6mm, 12mm

表-2 表面被覆材の力学特性

樹脂	繊維長	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び(%)
剛	—	1.5	95
	6mm	2.1	40
	12mm	1.2	37
軟	—	1.5	187
	6mm	2.8	40
	12mm	1.2	37

### 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、供試体表面の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角度に与える表面被覆材適用の影響は小さいと考えられる。

### 3.3 はく離面積

はく離後の供試体を用いてはく離面積を測定した。結果を図-3に示す。図-2に示したように、樹脂単体で用いたものは、剛タイプ、軟タイプともに、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剥がし力が作用し、ひび割れがさらに進展したと考えられる。しかし、樹脂に繊維を混入することで、特に軟タイプの樹脂でははく離面積が小さくなった。

表-2の破断伸びの低下が示すように、はく離ひび割れが容易に樹脂の亀裂につながり、外縁部でひび割れ角度が大きなりはく離面積が拡大する前に開口して、面外変形が大きくなったものと考えられる。ただし、樹脂の亀裂が供試体の表面に達しても、繊維の架橋効果により面外変形に抵抗したようであり、繊維の架橋とその繊維を定着する樹脂の弾性係数が大きい剛タイプで、外縁部でのひび割れ進展が大きくなった可能性がある。一方、弾性係数が小さい軟タイプの樹脂では、架橋している繊維を定着している樹脂の変形が大きくなり、はく離ひび割れの開口とそれともなう面外変形が増大し、その部分ではく離部分が決定したことで面積が小さくなったと考えられる。

### 3.4 終局時のひび割れ進展、開口エネルギー

荷重と鉛直変位の関係、内圧と半径変化量の関係か

ら、終局までにひび割れの進展および開口に使われたエネルギー $U_S = (U - U_E - U_C)$ を算出した。ここで $U$ : 外力のなす仕事、 $U_E$ : シリコンゴム弾性体に蓄えられるエネルギー、 $U_C$ : コンクリートに蓄えられるエネルギー、である。樹脂単体では、剛タイプより軟タイプの方でひび割れ進展、開口エネルギーが大きくなった。伸びの大きな軟タイプの樹脂が、はく離ひび割れの開口に追従することで、はく離外縁部でのひび割れの進展を大きくしたと考えられる。しかし、6mmの繊維を混入することで、剛タイプ、軟タイプともにひび割れ進展、開口エネルギーが若干低下した。はく離面積で述べたように、はく離ひび割れが容易に樹脂内の亀裂につながり、外縁部での進展が少なくなったものと考えられる。これに対し、12mmでは繊維の架橋効果が大きくなり、特に、軟タイプの樹脂においてははく離ひび割れの開口に消費されるエネルギーが増加したと推察される。

### 4. 結論

本研究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) エポキシ樹脂単体の表面被覆材では、はく離ひび割れの開口に樹脂が追従しつつ、ひび割れがはく離部の外縁にさらに進展する。
- (3) 繊維を混入した表面被覆材では、樹脂の伸びが小さくなるためはく離ひび割れが樹脂の亀裂につながりやすく、はく離面積が小さくなる傾向にあるが、亀裂内で繊維が架橋することによりひび割れの開口で消費できるエネルギーが大きくなる。

参考文献 1) 高谷哲ら: コンクリート破壊エネルギー $G_F$ 算出方法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, vol.27, pp163-168, 2005

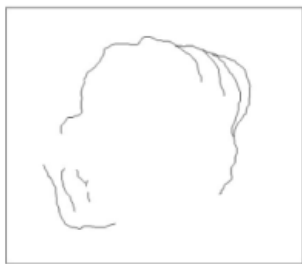


図-2 破壊性状の一例

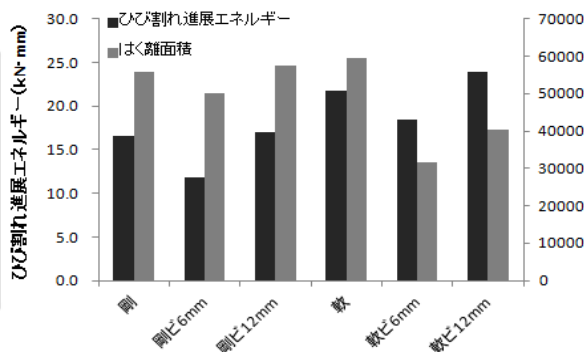


図-3 ひび割れ進展エネルギーとはく離面積の結果

表-3 ひび割れ角度の結果

表面被覆材	ひび割れ角度(°)	
剛	60.7	76.4
剛ビニロン6mm	62.1	66.3
剛ビニロン12mm	51.0	70.2
軟	69.2	64.7
軟ビニロン6mm	72.1	48.5
軟ビニロン12mm	59.2	52.3