

鋼板接着補強コンクリート部材の破壊挙動に関する研究

長崎大学大学院 学生会員 ○山本 健太  
 ショーボンド建設 (株) 正会員 安東 祐樹

長崎大学 正会員 松田 浩  
 長崎大学 非会員 山下 務

1 はじめに

コンクリート部材などにエポキシ樹脂を用いて鋼板を接着した際、終局時に鋼板端部から”はがれ”が生じ急激に剛性を失って破壊に至る場合がある。本研究は、コンクリート供試体に鋼板を接着して両引き試験を実施し、はく離挙動の把握を試みた。本研究では、事前解析より応力の流れが複雑なことが確認できたので、デジタル画像相関法を用いての全視野ひずみ計測によるはく離挙動の把握を行った。これと同時に、三次元非線形有限要素法解析を行い、接着幅と躯体幅の関係が鋼板接着端部の破壊挙動に及ぼす影響について検討を行った。

2 試験, 及び解析概要

2.1 試験概要

鋼板端部でははく離を評価するために、図2に示す両引き試験を行った。供試体は、コンクリートブロックの両側にエポキシ樹脂にて厚さ5mmの鋼板を接着して製作した(図1)。材料の物性を表1~3に示す。検討した鋼板接着長は100mm一定とし、接着幅Bを30mm, 50mm, 70mm, 100mmの4種類とした。デジタル画像相関法の計測範囲は、図1に示す接着部(斜線部)の網掛け部分の計測である。また、比較のために解析で得られた鋼板表面のひずみ分布の代表箇所(図3)に、ひずみゲージを貼付した。

2.2 解析概要

解析は、図4に示す要素平均寸法7mm角の8節点アイソパラメトリック要素の1/2対称モデルとした。鋼板のはく離を再現するために、各接着部の節点を共有せずCoulomb摩擦の接触条件を適用した。その際に、接着部の要素間の垂離条件は、コンクリートの引張強度まで相対変位が生じないように拘束し、その後全応力を開放することとした。

表1 コンクリートの物性値

圧縮強度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\mu$
15.7	1.44	$1.42 \times 10^4$	0.16
36.9	2.55	$2.77 \times 10^4$	0.16

※引張強度は  $f_t = 0.23 \cdot f_c^{2/3}$  より算出

表2 使用鋼材の物性値

鋼材	降伏点 $\sigma_{sy}$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_{su}$ (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 E <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
鉄筋 D22	405	595	$1.93 \times 10^5$
鋼板 t=4.5mm	347	443	$1.88 \times 10^5$

表3 接着材(エポキシ樹脂)の物性値

圧縮強度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_{sy}$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張せん断強度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\mu$
76.8	57.9	12.6	2800	0.39

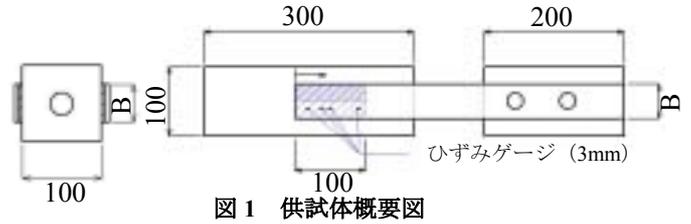


図1 供試体概要図

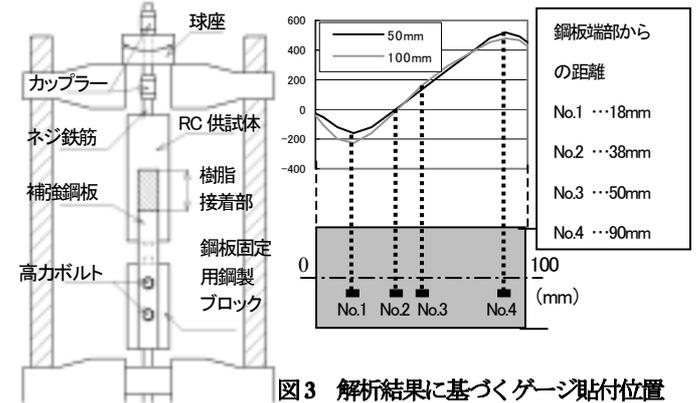


図3 解析結果に基づくゲージ貼付位置

図2 試験概要図

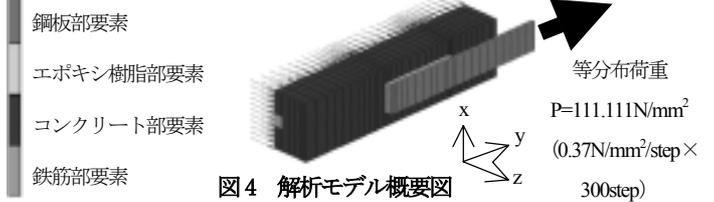


図4 解析モデル概要図

3 試験, 及び解析結果

3.1 はく離荷重, はく離強度

試験, 解析結果を図5に示す。結果より圧縮強度が大きくなるとはく離荷重, はく離強度は相対的に大きくなった。つぎに、接着幅に着目すると、接着幅が大きくなるとはく離荷重は大きくなるが、はく離強度は逆に小さくなった。なお、接着幅30mm, 100mmでは、試験と解析の結果が大きく乖離した。接着幅30mmでは、解析で荷重が上がりきらずにはく離した。また、接着幅100mmでは、この時の試験ではコンクリート部がせん断破壊しており、解析の破壊パターンと異なる結果となった。

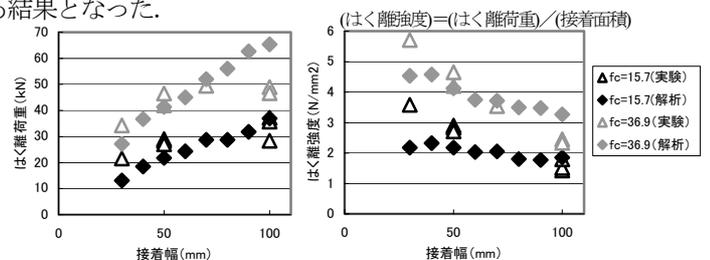


図5 はく離荷重, はく離強度

3.2 荷重 - ひずみ曲線

図6に、接着幅70mmの時の荷重-ひずみ曲線を示す。デジタル画像相関法では、ひずみゲージとほぼ同等な精度で計測できており、また解析でも試験を終了するまでは、ほぼ精度良くシミュレートできていた。

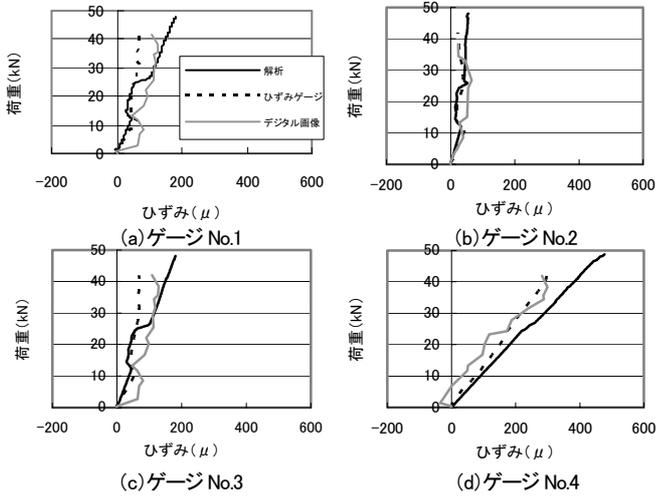


図6 荷重-ひずみ曲線 ( $f_c=36.9\text{N/mm}^2, B=70\text{mm}$ )

3.3 接着部鋼板表面のy方向ひずみ分布図

鋼板表面のy方向ひずみ分布を図7に示す。図より、全体の分布傾向は、接着幅に関わらず鋼板先端側から20mm付近で圧縮ひずみ、90mm付近で引張ひずみが卓越した。これは、樹脂の特性によるところが大きいと考えられる。樹脂は一般に弾性係数が小さく引張強度が高いため、荷重が大きくなっても躯体からはがれずに追従する(図8)。その結果、樹脂の変形が大きくなり、荷重の伝達がリニアにならず、ピークが接着部の内側に入り込んだような分布を示したと考えられる。

また、接着幅が小さいと、より鋼板が引っ張られるため、結果として引張側のピークが大きくなる傾向にあり、接着幅が躯体幅に近づくと、鋼板先端側で荷重に抵抗する傾向が強くなって鋼板先端に発生したひび割れの拡大が助長され、圧縮ひずみが大きくなったと考えられる。

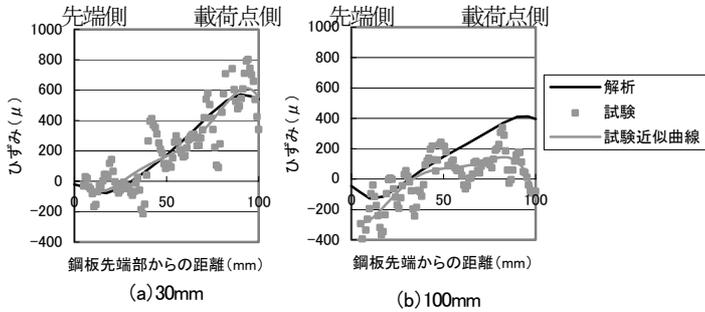


図7 鋼板表面y方向ひずみ

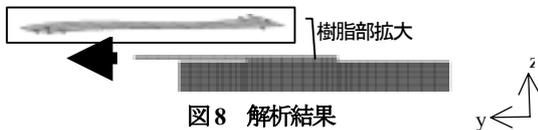


図8 解析結果

3.4 接着界面の応力分布

樹脂-コンクリート界面断面中央の応力分布を図9に示す。ひび割れ発生前では、接着幅に関わらず、ほぼ同様の分布を示したのに対し、はく離直前では全体的に引張を受ける傾向を示した。特に、接着幅が小さくなると引張側のピークが接着部内側に推移している。これは、接着幅が小さいと、樹脂の変形が大きくなり、鋼板に曲げが発生したと考えられる。また、水平方向の応力分布と比較して、鉛直方向では、40mm~90mm付近ではほぼ0であり、両端で急激に応力が卓越していることから、鉛直方向の力には、コンクリート部の両端で抵抗していることが分かる。

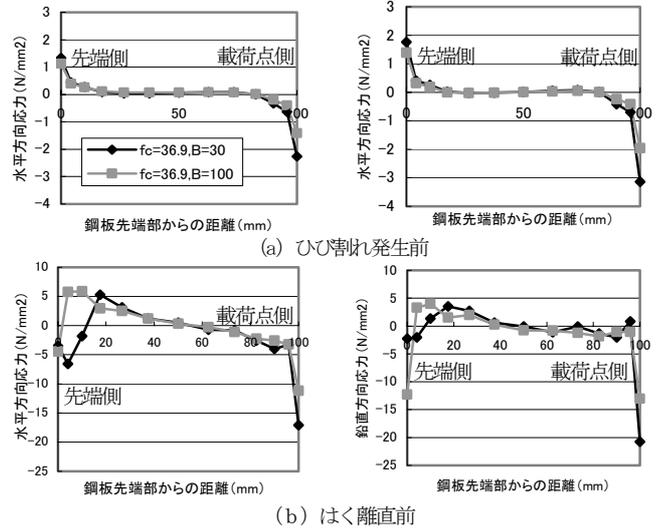


図9 接着界面中央部(樹脂-コンクリート)応力分布

3.5 ひび割れ分布に見る抵抗幅の傾向

コンクリートのひび割れ分布から躯体幅と接着幅の影響をみると(図10)、各接着幅でひび割れ分布が異なる結果が得られた。この傾向は、試験、解析とも一致しており、 $B=30\text{mm}$ では、鋼板先端側から約20mmの位置で、躯体断面方向のひび割れが進展していた。さらに解析では、鋼板周辺のコンクリート部で荷点側に沿うひび割れが確認でき、断面方向に加え接着部側面の躯体も抵抗していることが分かる。これに対し、 $B=100\text{mm}$ では、鋼板先端側にひび割れが顕著となっており、主に躯体断面方向のみで抵抗していることが分かる。これらより、はく離強度の低下は、躯体の抵抗断面に影響する。

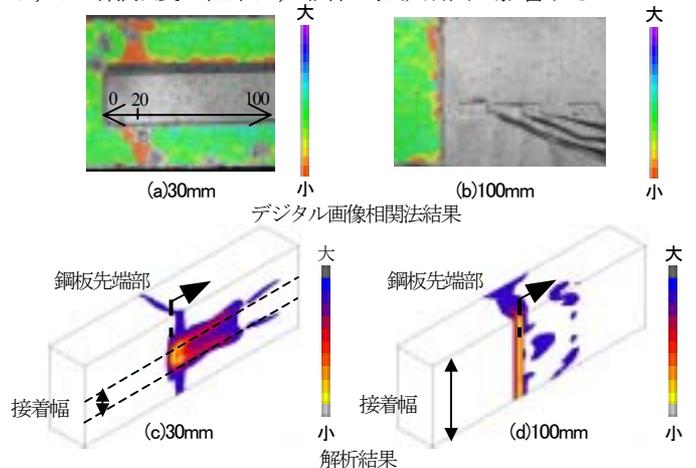


図10 ひび割れ分布図

4 まとめ

- (1) 接着幅が躯体幅に近づくとはく離強度は低下する。また、はく離強度はコンクリートの圧縮強度と相関が高い。
- (2) 接着幅が躯体幅より小さくなると、断面方向に加え接着部側面の躯体も抵抗するが、接着幅が等価な場合、躯体断面幅のみしか抵抗できない。
- (3) 接着幅が躯体幅と等価となると、接着端部のひび割れの影響が顕著となって変形が進み、躯体がせん断破壊する。
- (4) 鋼板は、接着幅に関わらず鋼板先端から20mm付近で圧縮ひずみ、90mm付近で引張ひずみが卓越した。この現象は樹脂の弾性係数が小さく引張強度が高いため、躯体断面方向のひび割れ幅が拡大しても鋼板ははく離せず変形に追従するためである。