

## 鋼板接着端部のはく離現象に関する検討

長崎大学 学生会員 ○山本 健太 長崎大学 正会員 松田 浩 長崎大学 非会員 山下 務  
 ショーボンド建設(株) 正会員 安東 祐樹 長崎大学大学院 学生会員 浦田 美生

### 1. はじめに

コンクリート部材などに、鋼板を接着して補強した際、終局時に鋼板を接着した端部からはがれが生じて急激に剛性を失い破壊に至る場合がある。

本研究では、この鋼板のはく離現象に及ぼす接着幅の影響や鋼板表面の挙動を把握するため、電子スペクトルパターン干渉法(以下 ESPI)を用いた全視野ひずみ計測による実験、ならびに三次元非線形有限要素法を用いた解析を行った。

#### 2-1. 実験概要

鋼板端部ではく離を簡易的に評価するために、図-1に示す両引き実験により実験を行った。供試体は、図-2に示すコンクリートブロックに鋼板を両側に厚さ5mmのエポキシ樹脂にて接着した供試体を製作した。なお、今回用いた材料の物性を表-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50mm, 100mmの2種類とした。ESPIの計測位置は、供試体の対称性を考慮し、図-2に示す接着部(斜線部)の網掛け部分の計測を行った。また、ESPIとの比較のために図-3の事前解析で得られた鋼板表面のひずみ分布の代表箇所、ひずみゲージを貼り付けた。

表-1 コンクリートの物性

| 接着幅<br>B<br>(mm) | 圧縮強度<br>$f_c'$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>$f_t$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>$E_c$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比<br>$\mu_c$ |
|------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|
| 50               | 15.7                                   | 1.44                                  | $1.42 \times 10^3$                    | 0.16             |
| 100              |  |                                       |                                       |                  |

※引張強度  $f_t$  は  $0.23 \cdot f_c'^{2/3}$

表-2 使用鋼材の物性

| 鋼材         | 降伏点<br>$\sigma_{sy}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>$\sigma_{su}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>$E_s$<br>(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

| 圧縮強度<br>$f_c$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>$\sigma_{ey}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張せん断強度<br>$\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>$E_e$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比<br>$\mu_e$ |
|---------------------------------------|---|--|---------------------------------------|------------------|
| 76.8                                  | 57.9  | 12.6                                     | 2800                                  | 0.39             |

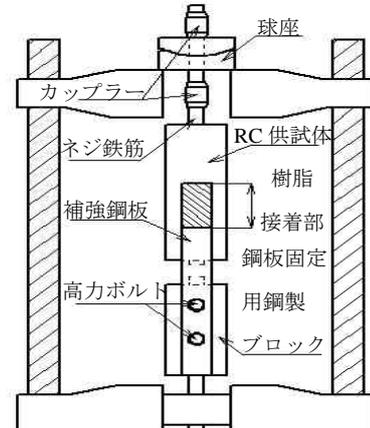


図-1 実験概要図 (ESPI計測面)

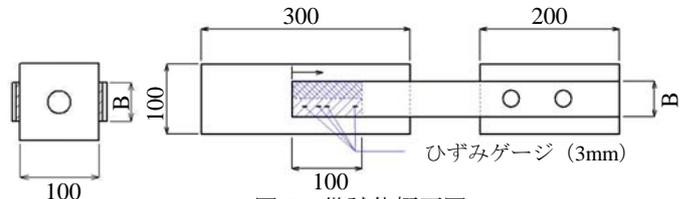


図-2 供試体概要図

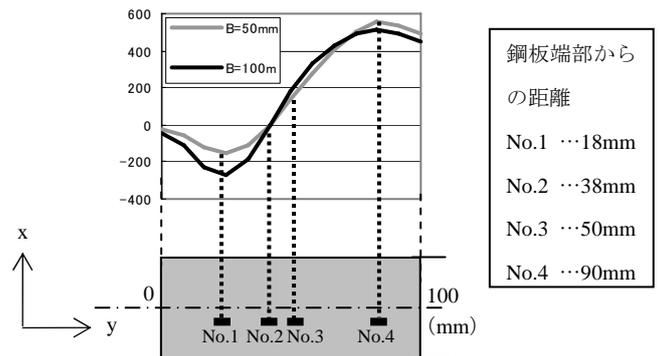


図-3 解析結果に基づくゲージ貼付位置

#### 2-2. 解析概要

解析は、図-4に示すような要素平均寸法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。また、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、接着部の要素間の解離条件として、限界応力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。この時の限界応力は、コンクリートの引張強度と仮定した。

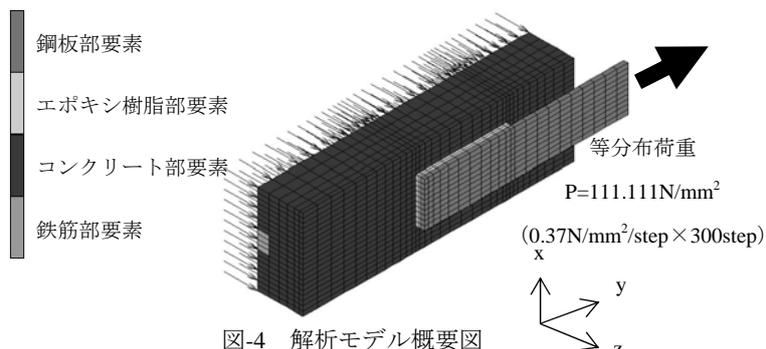


図-4 解析モデル概要図

2-3. 実験および解析結果

表-4 はく離荷重, はく離強度一覧

| 接着幅<br>B<br>(mm) | 供試体<br>No. | はく離荷重            |      | はく離強度                               |      |
|------------------|------------|------------------|------|-------------------------------------|------|
|                  |            | $P_{pr}$<br>(kN) |      | $\tau_{pr}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      |
|                  |            | 実験               | 解析   | 実験                                  | 解析   |
| 50               | 50-1       | 29               | 24.5 | 2.9                                 | 2.45 |
|                  | 50-2       | 28.4             |      | 2.84                                |      |
|                  | 50-3       | 27.1             |      | 2.71                                |      |
| 100              | 100-1      | 28.4             | 37.6 | 1.42                                | 1.88 |
|                  | 100-2      | 30.17            |      | 1.51                                |      |
|                  | 100-3      | 35.7             |      | 1.79                                |      |

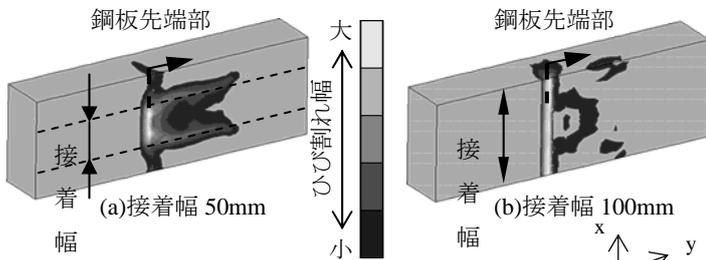


図-5 破壊時ひび割れ発生状況 (解析結果)

実験, 解析で得られたはく離荷重, はく離強度を表-4に示す. はく離強度は, はく離荷重を接着面積で除した値である. これより, 実験結果, および解析結果を比較すると, 接着幅によらず, ほぼ同等のはく離荷重およびはく離強度を示した.

はく離荷重は, 接着幅が大きくなると, 増加する傾向にあるが, はく離強度は減少する傾向にある. これは, 図-5に示す解析結果から, 接着幅が躯体断面幅に等しくなると, コンクリートの抵抗できる面積が減少するためだと考えられる.

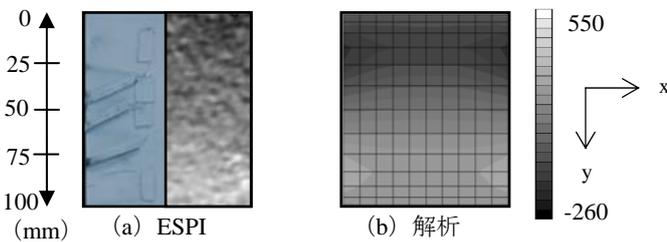


図-6 y-方向ひずみ分布

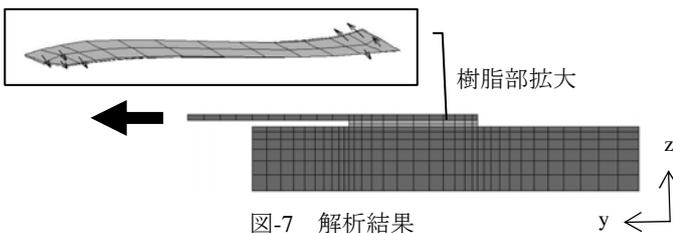


図-7 解析結果

つぎに, 供試体 No100-3 の ESPI 計測, および解析によって得られた鋼板表面の y-方向ひずみ分布図 (図-6) を示す. 図-6 (b) より, 鋼板端部から約 20mm 位置で

圧縮, 約 80mm 位置で引張のひずみが生じている. これは, 図-7に示すように, 弾性係数が小さい樹脂の変形に伴い, 鋼板表面でそれぞれ圧縮・引張が作用している. 図-6 (a) で, これを非接触全視野ひずみ計測によって可視化することができている.

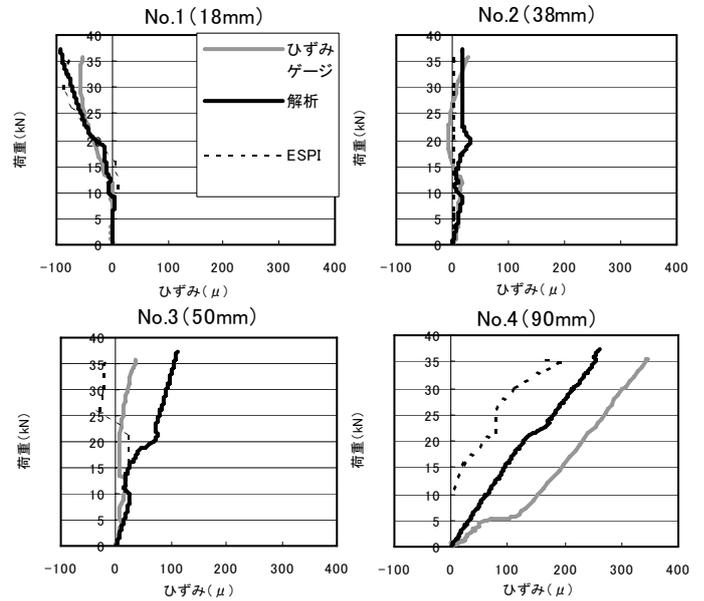


図-8 各計測方法による荷重-ひずみ曲線

つぎに, 各ひずみゲージ貼付位置の実験, および解析によって得られた, 荷重-ひずみ曲線 (図-8) を示す. No.1, No.2, No.3 のひずみ値の挙動は, 解析, ひずみゲージ, ESPI において同様なひずみ挙動を得られた. しかし, ESPI のひずみ値において, No.3 の荷重 20kN 以降, および No.4 に誤差が生じた. この誤差の理由としては, 変形の大きい箇所であること, 面外方向に変形が生じたこと, また ESPI 計測において, 不動点と仮定した点が動いた可能性があることが考えられる.

3 まとめ

1. 実験, および解析結果において, 接着幅が大きくなると, はく離荷重は増加し, はく離強度は減少するという結果が得られた. これは, 躯体の抵抗断面の減少によるものと考えられる.
2. ESPI を用いた非接触全視野ひずみ計測により, 樹脂の変形に伴う鋼板表面に生じるひずみを可視化することができた.
3. ひずみ計測において, ESPI, ひずみゲージによる計測, ならびに解析結果において, 同様のひずみ挙動が得られた.

今後は, 非接触全視野ひずみ計測を用いて, コンクリート部分のひずみ挙動についても可視化を行い, 接着幅と躯体断面幅の関係についての検討を行う. また, 接着幅の異なる鋼板を作製し, 接着幅とはく離強度の関係についてもさらなる検討を行う.