

## 鉄筋腐食を生じた RC 部材のかぶりコンクリートの拘束圧に関する解析的検討

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○番場 俊介 長岡 和真 正会員 村上 祐貴

## 1. はじめに

中性化や塩害などによる鉄筋腐食によりコンクリートには腐食膨張圧が発生する。腐食膨張圧によってかぶりコンクリートにはひび割れが発生し、最終的に剥落に至る場合もある。

かぶりコンクリートに発生する腐食ひび割れは、コンクリートの拘束効果を低下させるため、これにより鉄筋とコンクリートの付着性状は著しく劣化することが既往の研究で報告されている<sup>1)</sup>。

そこで、本研究では腐食ひび割れの発生に伴うコンクリートの拘束効果の変化を実験的に評価するとともに、二次元 FEM 解析による再現解析を実施した。

## 2. 試験概要

図-1 に試験体形状を示す。試験体には所定の位置に直径 22mm の円孔を設けた。円孔内には鋼管パイプを挿入し、その隙間に腐食膨張圧を模擬するため、静的破砕剤を充填した。拘束圧は膨張圧の反力として作用することから、円孔内に挿入した鋼管パイプの内曲面に 2 軸のひずみゲージを 3 枚貼付し、式(1)に示す中空円筒理論を用いて拘束圧(膨張圧)を算出した。

$$-\sigma_n = p_0 = \frac{-E(k^2 - 1)}{2k^2(1 - \nu^2)}(\varepsilon_\theta + \nu\varepsilon_z) \quad (1)$$

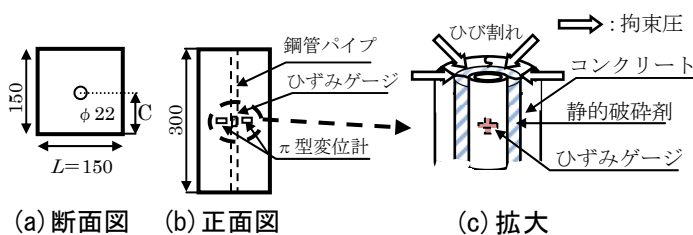


図-1 試験体形状

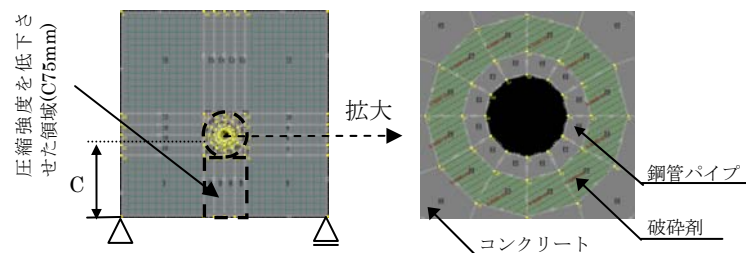


図-2 解析モデル

ここで、 $\sigma_n$  : 拘束圧(MPa),  $p_0$  : 膨張圧(MPa),  $E$  : 鋼管の弾性係数(200000N/mm<sup>2</sup>),  $\varepsilon_\theta$  : 円周方向ひずみ,  $\varepsilon_z$  : 軸方向ひずみ,  $k$  : 鋼管の外内径比(外径 : 13.8mm, 内径 : 9.2mm),  $\nu$  : 鋼管のポアゾン比(0.3)である。

さらに、試験体の側面中央部にはπ型変位計を設置し、膨張圧に起因する縦ひび割れ幅の計測も行った。

実験パラメータは、かぶり厚(芯かぶり), および圧縮強度とした。かぶり厚は 75mm, 60mm, 50mm, 40mm の 4 水準, 水セメント比は 60%, 45%, 30% の 3 水準である。

## 3. 解析概要

解析モデルを図-2 に示す。本解析では静的破砕剤を熱膨張させることで膨張圧を発生させることとした。その際、静的破砕剤の線膨張係数は 12μ/℃とし、コンクリートおよび鋼管パイプの線膨張係数は 0μ/℃とした。また、1ステップあたりの温度増分量は 5℃とした。

解析に用いたコンクリートの物性値を表-1 に示す。コンクリートの引張強度は式(2)、破壊エネルギーは式(3)を用いて算出した。なお、かぶり厚 C=75mm の試験体は、全方向かぶり厚が同じであることから、特定のかぶり面にひび割れを集中して発生させるために、図-2 に示す領域のコンクリートの圧縮強度を 10%低下させた。

$$f_t = 0.23 \times f_c'^2 (N/mm^2) \quad (2)$$

$$G_f = 0.000025 \left( 0.24 \left( \frac{f_c'}{0.85} \right)^{\frac{2}{3}} \right) \times 10^6 (N/m) \quad (3)$$

ここで、 $f_c'$  : 圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)である。

表-1 コンクリートの物性値

| W/C(%) | かぶり厚C<br>(mm) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 破壊エネルギー<br>(N/m) |
|--------|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|
| 60     | 75            | 29.0                         | 2.22                         | 29210                        | 63.1             |
|        | 60            |                              |                              | 28370                        |                  |
|        | 50            |                              |                              | 31570                        |                  |
|        | 40            |                              |                              | 32040                        |                  |
| 45     | 75            | 40.0                         | 2.69                         | 32090                        | 78.2             |
|        | 60            |                              |                              | 36190                        |                  |
|        | 50            |                              |                              | 34000                        |                  |
|        | 40            |                              |                              | 34350                        |                  |
| 30     | 75            | 50.0                         | 3.12                         | 30500                        | 90.8             |
|        | 60            |                              |                              | 36220                        |                  |
|        | 50            |                              |                              | 40860                        |                  |
|        | 40            |                              |                              | 32960                        |                  |

キーワード 鉄筋腐食, 腐食ひび割れ, 付着劣化, 拘束圧, かぶり厚

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 番地 長岡工業高等専門学校 TEL0258-34-9276

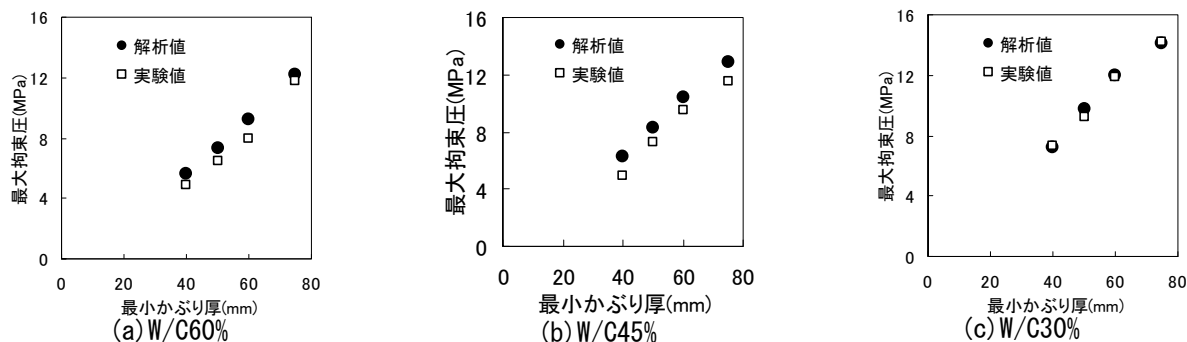


図-3 最大拘束圧と最小かぶり厚の関係

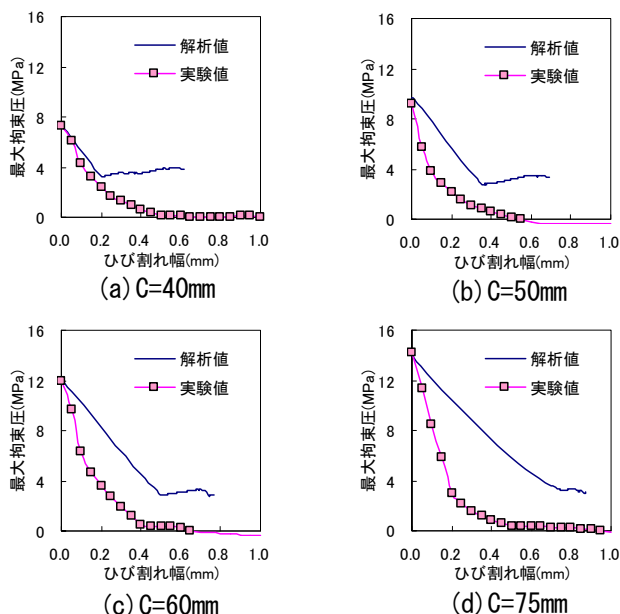


図-4 最大拘束圧とひび割れ幅の関係 (W/C=30%)

また、静的破砕剤の弾性係数は  $4200(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、鋼管パイプの弾性係数は  $200000(\text{N}/\text{mm}^2)$  とした。

#### 4. 解析結果及び試験結果との比較

##### 4.1 最大拘束圧

図-3 に最大拘束圧と最小かぶり厚の関係を示す。実験では、いずれの水セメント比においても、かぶり厚の増加に伴い最大拘束圧は増加した。かぶり厚が同じ試験体では、水セメント比が小さい(圧縮強度大きい)ほど最大拘束圧は大きい値を示した。また、解析結果による最大拘束圧は実験結果と良好な一致を示した。

##### 4.2 ひび割れ幅と拘束圧

図-4 に一例として W/C=30% の試験体の拘束圧とひび割れ幅の関係を示す。実験では、いずれの試験体もひび割れが  $0.2\text{mm}$  程度に達するまでに拘束圧は急激に低下し、それ以降は緩やかに低下した。また、ひび割れ幅が  $1.0\text{mm}$  に達するまでに拘束圧はほぼ消失した。一方、解析では、拘束圧はひび割れ拡大に伴い、一定の割合で低下したものの、実験結果と比べて拘束圧の低下量は小さい。

解析におけるひび割れ幅の増加に伴う拘束圧の低下割合は、かぶり厚によらずほぼ同様であった。解析結果と実験結果の拘束圧の低下量に差異が生じた原因は、実験ではかぶりコンクリートにひび割れが発生すると、コンクリートと静的破砕剤の界面において、すべりや、はく離が生じ、拘束圧が急激に解放する。これに対し、本解析ではコンクリート円孔と破砕剤との界面を完全結合としたため、ひび割れ発生後のすべりや、はく離が生じず、ひび割れが発生した領域近傍のみから拘束圧が解放されたことで、拘束圧の低下量が実験に比べて小さかったのと考えられる。

#### まとめ

本研究では、鉄筋腐食に伴うコンクリートの拘束効果の変化を実験的に評価するとともに、二次元 FEM 解析による再現解析を行った。本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) かぶり厚が大きい程、圧縮強度が大きい程、最大拘束圧は大きい。また、解析結果による最大拘束圧は実験結果と良好な一致を示した。
- (2) 本実験の範囲内では、拘束圧はひび割れが  $0.2\text{mm}$  程度に達するまでに急激に低下し、それ以降は緩やかに低下することが明らかとなった。また、ひび割れ幅が  $1.0\text{mm}$  に達するまでに拘束圧はほぼ消失した。
- (3) 本解析ではひび割れ幅の増加に伴う拘束圧の低下量は、実験値に比べて小さい。これは、ひび割れ発生後のコンクリートと破砕剤の界面におけるすべりや、はく離を考慮していないことによるものと考えられる。

謝辞 本研究は科研費(21760364)の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- 1) 佐々木淳, 丸山久一, 清水敬二, 米田直也: 鉄筋の発錆が付着性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, vol.13, No.13, pp.139-144, 1991