

鉄筋腐食膨張圧モデル化実験により発生する3次元効果についての検討

京都大学 学生会員 ○高谷 哲 西日本旅客鉄道（株） 正会員 荒木 弘祐
 京都大学 正会員 服部篤史 京都大学 フェロー 宮川 豊章

1. 研究概要

筆者らは既報¹⁾で、発生したひび割れの面積と蓄積されるエネルギーからコンクリート破壊エネルギー G_F を算出する手法を提案している。既報の実験は、供試体（ $L400\text{mm}$ ）の中央部（ $L200\text{mm}$ ）に圧力を導入する形状としたため、上下端部（各 $L100\text{mm}$ ）には、内圧に伴うひずみに対して拘束力が発生する構造となっている。本研究では、既報で使用した供試体の下面側切断し、円柱空洞を貫通孔とした供試体を作製した。これにより、上下面の拘束力を消去した2次元効果のみが影響すると思われる供試体とした。なお、本研究では、供試体や圧力導入の形状によって軸方向に不均一なひび割れが生じることを3次元効果と呼ぶことにする。

2. 実験概要

本実験で作製した供試体は、既報で使用した供試体の下部 100mm を切断した $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ の角柱供試体である。円柱空洞は上下面に貫通している。内圧導入範囲は 300mm とし、円柱空洞と同じ長さとして、上下端部の拘束力を消去した。実験状況を写真-1に示す。測定項目は鉛直荷重、鉛直変位とした。载荷は最大荷重が得られた時点で中止し、発生したひび割れにインクを注入した。ひび割れからのインクのリークを確認した後、幅 50mm で供試体を切断し、切断面のひび割れ長さを測定した。切断面のひび割れ長さに厚み 50mm を乗じてひび割れ面積とした。鉛直変位と鉛直荷重は、下記の式を用いて、円柱空洞内壁に作用する圧力 p_i （以下、内圧）と半径変化量 dr に変換することができる。

$$p_i = \frac{\nu E}{\nu - 1} \left(\frac{dL}{L_0} - \frac{P}{Er_0^2 \pi} \right) \quad (1)$$

$$dr = \frac{\nu \cdot dL \cdot r_0}{L_0} \quad (2)$$

ここで、 P ：鉛直荷重（ kN ）、 dL ：鉛直変位、 E ：弾性体のヤング係数（ N/mm^2 ）、 ν ：弾性体のポアソン比、



写真-1 実験の様子

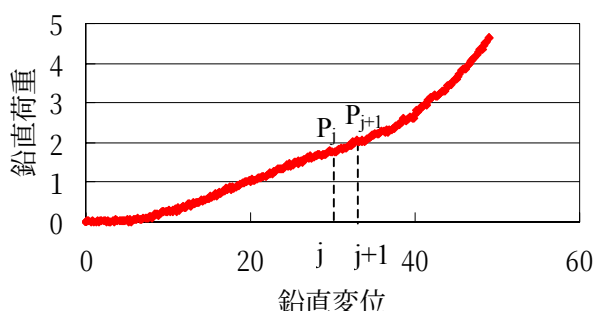


図-1 鉛直変位-鉛直荷重関係

L_0 ：弾性体元長（ mm ）、 r_0 ：弾性体元半径（ mm ）。

系全体に与えられたエネルギー U （ $\text{kN} \cdot \text{mm}$ ）は図-1の鉛直変位と鉛直荷重の面積積分から算出される。一方、系全体に与えられたエネルギーは主に、弾性体に蓄積されるエネルギー U_E とコンクリートに蓄積されるエネルギー U_C とひび割れ進展に利用されるエネルギー U_S に分けられると考えられる。 U_E は鉛直荷重と鉛直変位から、 U_C は半径変化量と内圧から面積積分で算出される。ここから、 U_S は下記の式で算出される¹⁾。

$$U_S = U - (U_E + U_C) \quad (3)$$

キーワード 鉄筋腐食、膨張圧、エネルギー、 G_F 、3次元効果

連絡先 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町京都大学5号館4F410 TEL 075-753-5102

3. 実験結果および考察

3.1 鉛直変位と鉛直荷重の関係

既報の最大荷重は平均で 3.96kN であったが、本実験では 3.77kN であり、概ね同一の結果が得られた。3 次元効果の影響が大きい場合、最大荷重は大きくなると考えられる。しかし、2 次元効果のみの本実験と 3 次元効果の影響が存在する既報の最大荷重が概ね同値となったことから、最大荷重までは 2 次元効果のみを考慮してもよいと考えられる。ただし、得られた鉛直変位－鉛直荷重関係を見ると傾きが緩やかになっている。既報と異なり、本実験では弾性体の長さを 300mm としたため、既報より 100mm 長く、同一の縦ひずみを得るための鉛直変位は大きくなる。ここから、同一の内圧を得るための鉛直変位が大きくなることが考えられ、傾きが緩やかになったと推測される。

3.2 半径変化量と内圧の関係

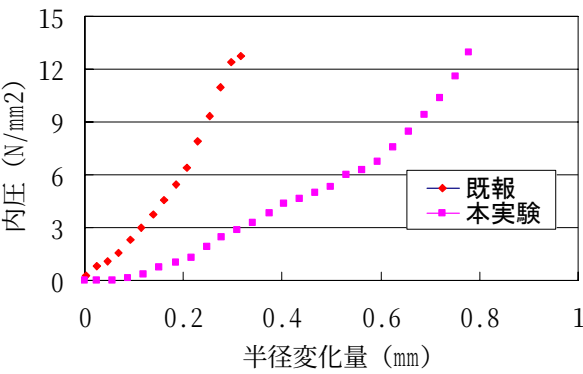
半径変化量－内圧関係（図－2）を見ると、本実験結果では既報に比べて、最大荷重時までの半径変化量は約 2 倍になっているが、最大内圧は概ね同じで、傾きは緩やかになっている。3 次元効果の影響が大きければ、内圧も大きくなると考えられるので、これも、3 次元効果の影響は少なく、弾性体を長くしたために同一の内圧を得るための鉛直変位が大きくなったことに起因すると推測される。

3.3 G_F の関係

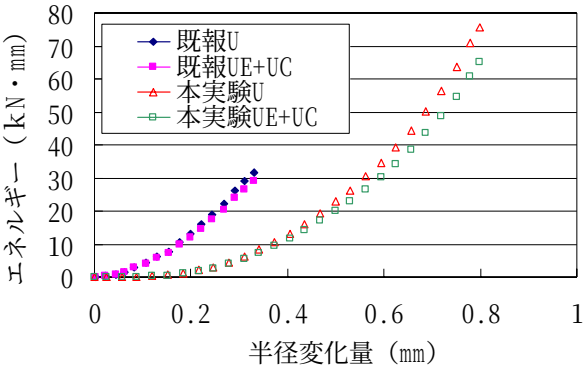
最後に、 G_F の算出値について比較すると、得られたひび割れ面積は既報と概ね同じであるが、 U_S が 3～4 倍になっており、 G_F もそれに伴い大きくなっている（表－1）。既報で報告されている値や CEB²⁾ および土木学会³⁾ に示されている方法により算出した値の G_F を得るためには、荷重が半分程度にならなければならない。2 次元効果のみであれば、上下方向に均一なひび割れが生じるはずであるが、ひび割れの分布を見ると、ひび割れが上面に集中しているものが多い。これは、供試体上下の拘束力が無く、ひび割れ貫通と同時に内圧の不均一性が生じ、3 次元効果が発生したためと考えられる。従って、本 G_F 算出手法を用いる場合、上下の拘束が存在しない状態では、 G_F が過大になる可能性がある。

4. まとめ

- 1. 鉛直変位と鉛直荷重の関係および半径変化量と内圧の関係から推測すると、最大荷重時までは既報の



図－2 半径変化量－内圧関係



図－3 半径変化量－エネルギー関係

表－1 本実験における G_F 算出結果

	No1	No2	No3	No4	No5
面積	34000	27450	26375	40725	42725
US	10.76	7.02	6.9	5.02	8.41
G_F	316.47	255.74	261.61	123.27	196.84

実験で現われている 3 次元効果の影響は少ないと考えられる。

- 2. 本 G_F 算出手法を用いる場合、上下の拘束力がないと内圧の不均一性が生じ、均一な軸方向ひび割れが発生しない可能性がある。この場合、本実験手法を用いて算出される G_F は既往の研究より大きく算出される可能性がある。

参考文献

1) 高谷哲, 荒木弘祐, 服部篤史, 宮川豊章:平成 17 年度 コンクリート工学年次論文集 (現在投稿中)

2) CEB-FIP MODEL CODE 1990 : COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON 1993 Thomas Telford Services Ltd

3) 土木学会:2002 年版 コンクリート標準示方書 改訂資料, pp.10