

京都大学 学生会員○高谷 哲 (株)JR 西日本 正会員 荒木 弘祐
 京都大学 正会員 山本 貴士 正会員 服部 篤史 フェロー 宮川 豊章

1. 研究目的

本研究の目的は、腐食の進行に伴う鉄筋径の増加率や、ひび割れ発生パターン・ひび割れ進展過程およびかぶりコンクリートの応力状態を把握し、実験結果と解析結果の整合性を検討することである。実験は鉄筋腐食膨張圧をモデル化した人工的な膨張圧を発生させることで、かぶりコンクリートにひび割れを発生させる方法で行った。

2. 実験概要

実験供試体は図1に示すような150×150×400mmの角柱とし、内部にφ26×300mmの円柱空洞を設置した。かぶり15、25、40mmをそれぞれ4体ずつ作成した。内圧は円柱空洞内にφ26×200mmの円柱弾性体(図2)を挿入し、弾性体に鉛直変位を与え変形させることで発生させた。測定項目は鉛直荷重、表面ひずみ、鉛直変位、表面変位、ひび割れ観察とした。実験の様子を図3に示す。

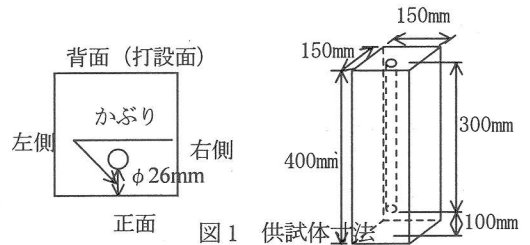


図1 供試体寸法

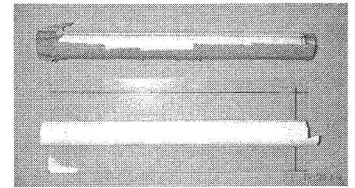


図2 弾性体

3. 実験結果と考察

3.1 ひび割れ発生と終局時

肉眼で最初にひび割れが確認されたのは円柱空洞直上かぶり面であった。また、この時のひずみは概ね1700μを越えた時で、概ね最大荷重が確認された。これはCEBモデルから予想された引張軟化領域(ひずみ150~3500μ)内であった。

さらに、式1を用いて算出したひび割れ発生時の半径変化量は0.078~0.299mmであった。ここで、半径変化量とは、弾性体の半径の増加量を指す。同様の手法を用いて算出した終局時(応力がほぼゼロになる測定終了時)の半径変化量は0.273~0.780mmであった。

$$dr = \frac{v \cdot dL \cdot r}{L} \quad (\text{式1})$$

ここで、 dr :半径変化量(mm)、 v :弾性体ポアソン比(0.49)、 dL :鉛直変位(mm)、 r :弾性体半径(13mm)、 L :弾性体長さ(200mm)とする。

過去の報告⁽¹⁾から算出した本実験における終局時の半径変化量は0.14mmである。報告されている半径変化量と、本実験の半径変化量はほぼ一致していると考えられる。ここから、本実験の手法は、腐食膨張圧によるひび割れをよくモデル化できていると考えられる。

3.2 ひび割れ進展

ひび割れ進展過程を観察した結果、図4の3種類に分類された。モード①は円柱空洞直上のひび割れ幅が伸長するとともに、上下方向に拡大し、供試体を二つ

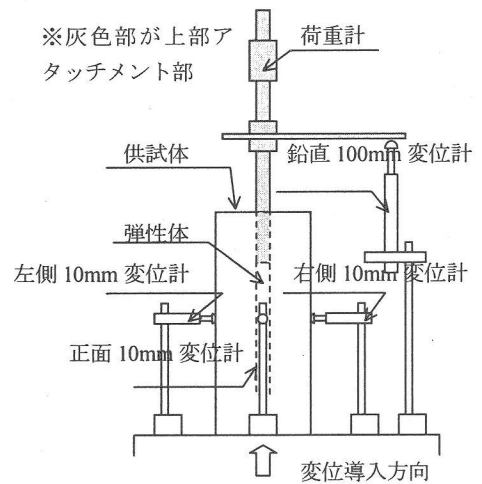


図3 実験の様子

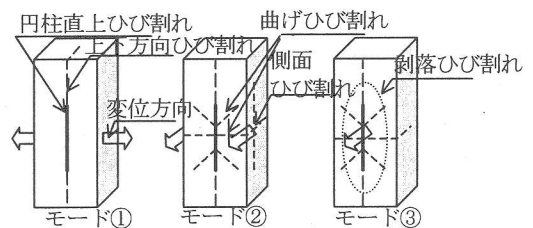


図4 ひび割れ進展パターン

に割るよう進展する破壊形態で主にかぶり40mmで確認された。モード②は①同様に発生・伸長した後、新たに曲げひび割れ・側面ひび割れが発生し、かぶり面側全体を盛り上げる形で進展する破壊形態で主にかぶり

25mm で確認された。モード③は②のひび割れに加え、かぶり面内に剥落を引き起こすひび割れが発生する破壊形態で主にかぶり 15mm の供試体で確認された。図 5 にモード③、かぶり 15mm の終局時の破壊例を示す。また、図 6 に各供試体の鉛直変異と鉛直荷重の関係を示す。供試体 No の横に示す数字は各供試体の最大荷重である。破壊までの総エネルギー量はモード②>③>①と結果になった。図 6 に示すように、モード①のかぶり 40mm 供試体 3 体では最大荷重以降、荷重の急落が見られた。これは内部弾性体に蓄積されたひずみエネルギーが一気に解放されたためと考えられる。この破壊形態は、周囲拘束が無かったことにより生じた本実験の特性と考えられる。パターン②とパターン③は、斜めひび割れの到達面の違いによって異なる破壊形態となったと推測されるため、基本的に同形態であると考えられる。

3.3 理論最大内圧と実最大内圧の整合性

厚肉円筒理論は軟化領域では使用できない。しかし、その式は簡易で有用性が高く、補正により、応力の理論値から実際の応力状態を表現できると考え、低減係数を用いて再現することを試みた。理論最大内圧、実測最大内圧をそれぞれ式 2、式 3 により算出し、整合性を調べた。

$$\sigma_t = \frac{b^2 - a^2}{2a^2} f_t \quad (\text{式 2})$$

$$\sigma_r = 0.00181P - 0.0150dL \quad (\text{式 3})$$

ここで、 σ_t : 理論最大内圧 (MPa)、 σ_r : 実最大内圧 (MPa)、 f_t : 引張強度 (N/mm²)、 P : 最大荷重(N)、 dL : 最大荷重時鉛直変位(mm)、 b : かぶり + a 、 a : 円柱空洞半径 (13mm) とする。算出した理論最大内圧と実最大内圧をかぶり毎に図にプロットし、理論値に減じる低減係数をプロットした結果、低減係数に図 6 のような線形の関係を得た。ここから、かぶり 15~40mm の範囲内では低減係数 α を用いて式 4 のように理論最大応力から実最大応力を表現できることが分かった。

$$\sigma_r = \alpha \times \sigma_t, \alpha = -0.0188b + 1.0921 \quad (\text{式 4})$$

4 結論

- 1.最初にひび割れが発生するのは円柱空洞直上かぶり面で、円柱空洞に沿って発生した。この時ひずみ概ね 1700 μ 、最大荷重が確認され、CEB モデルから算出した引張軟化領域内であった。また、終局状態の半径変化量と過去の報告から算出した本実験の半径変化量は、ほぼ合致した。
- 2.本実験においてひび割れ進展パターンは、最初のひび割れがそのまま拡大する破壊形態、曲げひび割れを生じる破壊形態、剥落を生じる破壊形態の 3 パターンに分類されることが分かった。
- 3.かぶり 15~40mm の範囲内では低減係数 α を用いて理論最大内圧から実最大内圧に変換できることが分かった。
- 4.最初に発生するひび割れパターン、半径変化量を考慮すると、本実験の手法は鉄筋腐食膨張圧によるかぶりコンクリートの破壊メカニズムを再現できていると言える。

参考文献 1. Design for avoiding damage due to carbonation induced corrosion : Parrotte,PJ 1994 Durability of Concrete
ACI SP-145 283-298

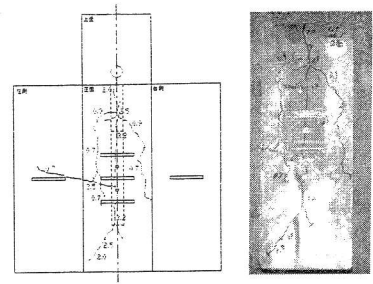


図 5 かぶり 15mm 供試体の破壊例

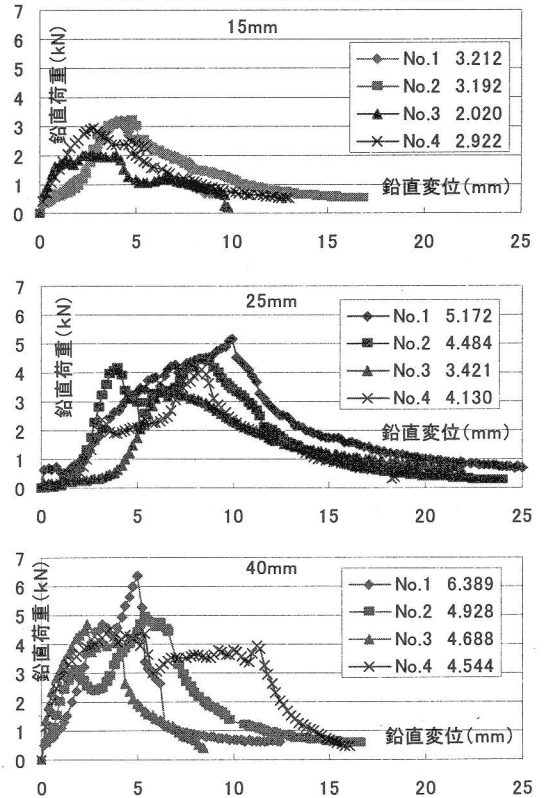


図 6 各供試体の鉛直変位と鉛直荷重の関係

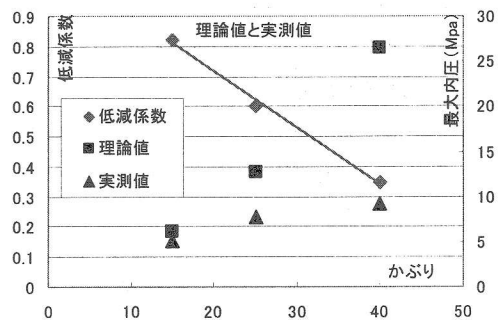


図 7 理論最大内圧と実測最大内圧