

水平力による RC 門型供試体の損傷進展と柱の荷重分担に関する実験的検討

(公財) 鉄道技術総合研究所 正会員 ○田口 隆治 中田 裕喜 渡辺 健

1. 目的

ラーメン高架橋等の不静定構造物は、1つの部材が負傷しても、他の部材の寄与による荷重分担によって、構造物の耐荷力の保持が期待できる構造形式であるが、損傷進展や破壊の程度は部材毎に異なると考えられる。そこで、不静定構造物の最小単位である門型供試体を用いた載荷実験によって各柱の荷重分担について検証した。

2. 実験概要

図-1に、供試体の概要図を示す。供試体は、鉄道の標準的なビームスラブ式 RC ラーメン高架橋の断面寸法を参考とした 1/2 の縮尺とした。ただし、左柱と右柱の荷重分担に伴う破壊挙動を再現するために、柱の高さを低く設定し、斜めひび割れの影響が顕著となるようにした。載荷実験は、柱および梁にコンクリートの打込みの約 2 年間に実施したため、梁の収縮に伴う引張力が柱下端に発生した。図-2に、供試体の収縮に伴うひずみの一例を示す。載荷方法は、各柱に一定軸力を作用させた状態で、柱はり接合部の側面に水平方向の繰返し載荷とした。

3. 実験結果

図-3に、荷重と水平変位の関係を示す。荷重の増加に伴い、ひび割れの発生や軸方向鉄筋および帯鉄筋が降伏ひずみに達したことによって、剛性の低下が見られた。その後、繰返し載荷によって荷重は緩やかに低下した。

図-4に、各柱の破壊性状を示す。左柱では、柱の上端から下端の対角へ向かって卓越した斜めひび割れが発生し、このひび割れは水平変位の増加に伴い、大きく開口した。これに対して、右柱では、複数の斜めひび割れが発生したが、卓越したひび割れに進展しなかった。

表-1に、各柱に発生したひび割れの角度とひび割れ角度の計算値の比較を示す。計算値は、柱の支持条件を両端固定として、文献¹⁾に示される(1)式の算出式より圧縮斜材角 θ として求めた。

$$\cot \theta = \sqrt{1 + \frac{\sigma_{cg}}{f_t}} \quad (1)$$

$$f_t = 0.23 f'_{ck}{}^{2/3} \quad (2)$$

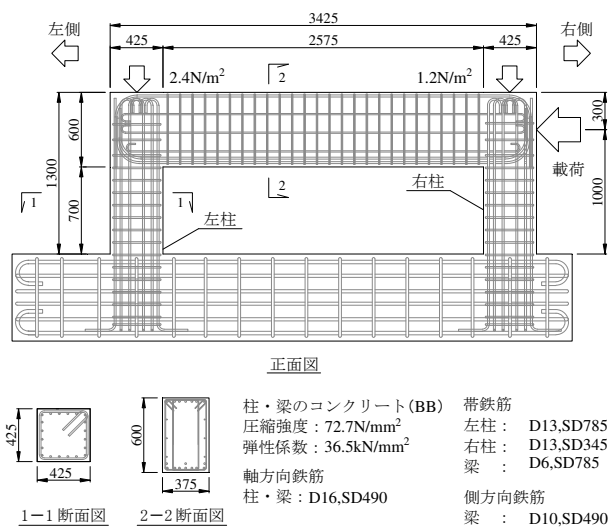


図-1 供試体概要図

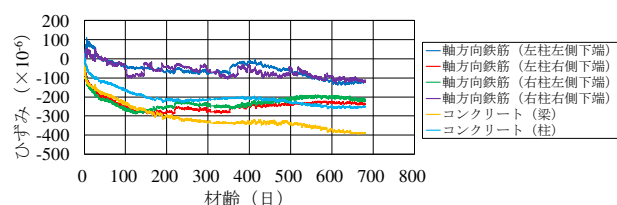


図-2 供試体の収縮に伴うひずみ

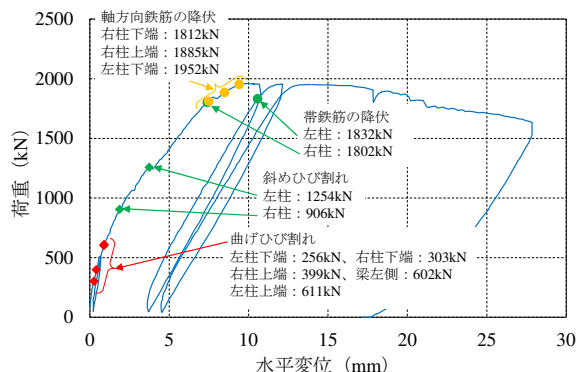
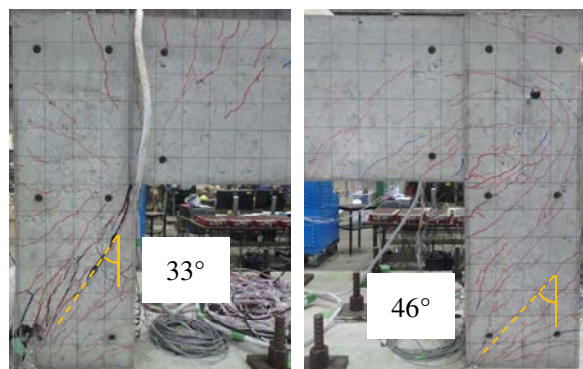


図-3 荷重と水平変位の関係



(a) 左柱 (b) 右柱

図-4 実験後の破壊性状

キーワード 斜めひび割れ, せん断破壊, 耐荷性状, 断面力の再配分, ラーメン高架橋

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 コンクリート構造 TEL 042-573-7281

θ : 圧縮斜材角 (°)

f'_{ck} : コンクリートの圧縮強度 (kN/mm^2)

軸力 σ_{cg} (N/m^2) は, 供試体と同様の寸法および材料諸元で作成したモデルに静的解析 (プッシュ・オーバー解析) により各柱の斜めひび割れ発生時の変動軸力を代入した。静的解析は, Dars の Ver.2.3.0.0 を用いて算出した。各柱のひび割れの角度 θ は, 計算値と概ね同等となった。

図-5 に, 柱断面内の軸方向鉄筋のひずみ分布を示す。同図には, 軸方向鉄筋のひずみ分布から算出した曲率を点線で併記している。0kN で各柱の曲率が異なるのは, 収縮に伴う引張力のためであると考えられる。

図-6 に, 荷重と各柱のせん断力の比の関係を示す。各柱のせん断力は, 柱断面の軸方向鉄筋ひずみ分布から算出した曲げモーメントにモーメント反曲点までの距離を除して算出した。曲げモーメントは, 図-5 と同様に算出した曲率 ϕ を式 (3) に代入して算出した。

$$M = \phi \cdot EI \quad (3)$$

モーメント反曲点の位置は, 柱の曲げモーメント分布から曲げモーメントが $0kN \cdot m$ となる位置とした。なお, せん断力の比を算出することを目的としたため, 断面二次モーメント I は柱断面をひび割れのない弾性体と仮定して算出した。

載荷初期では, せん断力の比は左柱が大きい。載荷に伴い, 右柱が大きくなっていき, 梁左側および左柱上端のひび割れ発生時 ($602kN$ および $611kN$) から右柱が左柱より大きくなった。右柱の斜めひび割れ発生時 ($906kN$) に左柱の比が大きくなったが, 左柱の斜めひび割れ発生時 ($1258kN$) に再び右柱の比が大きくなった。このように, せん断力の比の推移からひび割れの発生に伴い, 柱同士でせん断力を寄与していることがわかる。これは, ひび割れの発生により柱がせん断力の一部を負担できなくなり, そのせん断力をもう片方の柱が負担したためであると考えられる。また, せん断力の比が大きく変化したのは, 各柱に斜めひび割れが発生した時である。せん断力の比は, 左柱の斜めひび割れ発生時 ($1258kN$) が右柱のひび割れ発生時 ($906kN$) より急激に変化したことから, 卓越したひび割れの発生時に急激に変化することがわかる。

4. まとめ

門型供試体の載荷実験により, 斜めひび割れが発生した供試体の各柱は損傷に応じて, 水平力や鉛直力に関する各柱部材の荷重分担が推移することを実験的に捉えた。損傷部位や発生順序を非線形有限要素解析により追跡し, 併せて荷重分担や破壊時の部材の応力状態を把握することができれば, 応力変動の生じる RC 部材に対するマクロ式や非線形有限要素解析の適用について検証可能である。

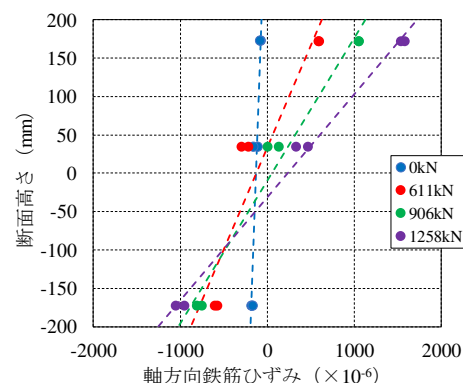
なお, 本研究の一部は, 国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献

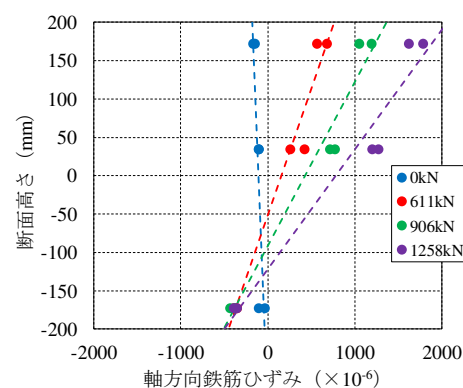
- 1) 三方康弘, 井上晋, 小林和夫, 仁枝保 : PC はり部材のせん断耐力に及ぼすプレストレスの効果, 土木学会論文集, No.669/V-50, 149-159, 2001.2

表-1 ひび割れ角度の比較

	左柱	右柱
実測値 (°)	33	46
(1) 式 (°)	36	44



(a) 左柱下端



(b) 右柱下端

図-5 柱断面内のひずみ分布

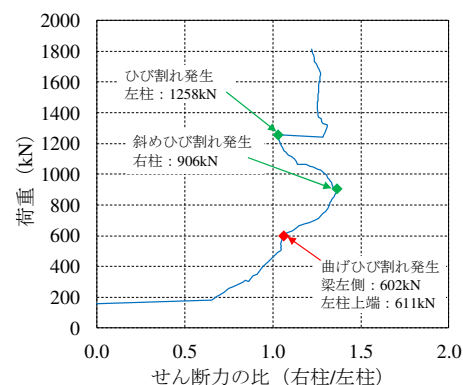


図-6 荷重とせん断力の比の関係