

ストッパー周りに配置した補強鉄筋が受け持つせん断耐力に及ぼす各諸元の影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○岡本圭太, 轟俊太郎, 田所敏弥

1. はじめに

耐震設計において、ラーメン高架橋は橋脚を他の部材に先行して損傷させることが一般的であるが、熊本地震等では鋼角ストッパー周辺の桁端（以下、ストッパー周り）に損傷が生じた。損傷箇所や程度を制御可能なせん断耐力算定手法の構築を目的として、本研究では、実橋のストッパー諸元に基づく実験および FEM から、ストッパー周りに配置した補強鉄筋が受け持つせん断耐力について検討を行った。

2. 解析概要

図 1, 図 2 に供試体諸元および配筋, 実験および解析パラメータを示し, 表 1 に材料諸元を示す。供試体は, 90° 回転させた桁端を模擬した, 2 つの同一諸元の矩形フーチングに埋め込んだストッパーである。実験パラメータは l_1/l_2 であり, No.1 は $1.0(l_1=150\text{mm}, l_2=150\text{mm})$, No.2 は $0.5(l_1=75\text{mm}, l_2=150\text{mm})$ とした。

図 3 に解析モデルを示す。解析モデルは, 供試体中央を対称とした 3 次元 1/4 モデルである。フーチング下端を xyz 方向固定, 対称面を y 方向固定とした。また, ストッパーを被覆した緩衝ゴムは, インターフェース要素にてモデル化した。補強鉄筋は埋め込み鉄筋要素にてモデル化した。载荷は, 実験の载荷位置にて z 方向の強制変位を漸増させた。コンクリートの構成則は, 破壊エネルギーに基づく応力ひずみ関係を用い, 引張側は Hordijk モデル, 圧縮側は Parabolic モデルとした。表 1 に示すコンクリートの圧縮強度を用いて, コンクリートの引張強度および引張破壊エネルギーは鉄道構造物等設計標準・同解説¹⁾ (鉄道標準) により算出し, 圧縮破壊エネルギーは中村らによる式²⁾により算出した。ひび割れモデルは固定ひび割れモデル, ひび割れ後のせん断剛性および圧縮強度の低減係数はひび割れ直交方向のひずみに応じてせん断剛性を低減する Al-Mahaidi モデルを用いた。補強鉄筋の構成則は, 完全弾塑性モデルとした。緩衝ゴムは, 材料規格値から鉄道標準に従い, 法線方向およびせん断方向の剛性を算出した。なお, ストッパーは, 実験終了後まで弾性であったことから, 線形とした。

表 2 に解析に用いた諸元を示す。解析パラメータはコンクリートの圧縮強度 f_c , d , l_1/l_2 である。 f_c を 27N/mm^2 , d を 300mm とし, l_1/l_2 を $0.3, 0.7, 1.0$ と変化させた fc27d300 を基準とし, fc27d600 は d を 600mm とした。fc20d300 および fc40d300 は f_c を $20, 40\text{N/mm}^2$ とした。図 4, 5, 6 に, 実験から得た荷重変位関係, 荷重と補強鉄筋のひずみ関係, 実験終了後の損傷状況を示す。実験では, フーチング前面のストッパー隅角部から斜めひび割れが発生し, 補

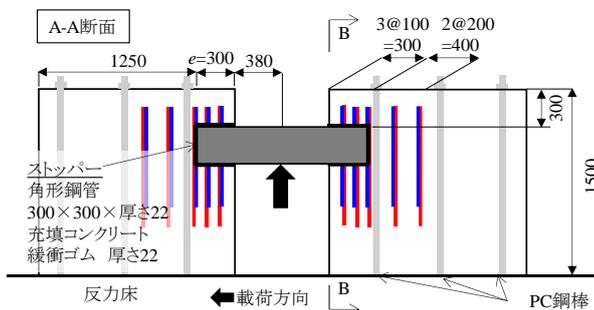


図 1 供試体諸元

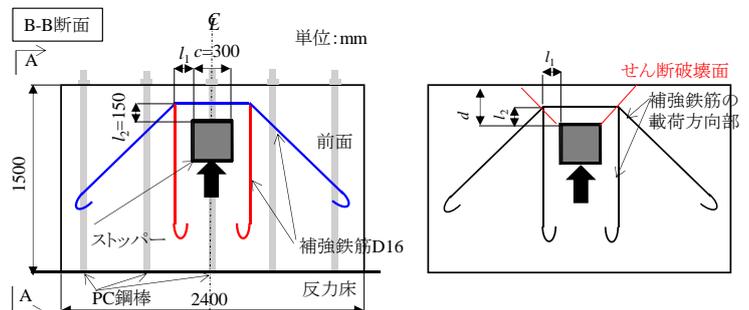


図 2 実験及び解析パラメータ

表 1 材料諸元および実験パラメータ

	l_1/l_2	フーチング			充填コンクリート			補強鉄筋			角形鋼管		
		圧縮強度 $f'_c(\text{N/mm}^2)$	引張強度 $f_t(\text{N/mm}^2)$	弾性係数 $E_c(\text{kN/mm}^2)$	圧縮強度 $f'_c(\text{N/mm}^2)$	引張強度 $f_t(\text{N/mm}^2)$	弾性係数 $E_c(\text{kN/mm}^2)$	記号	降伏強度 $f_{sy}(\text{N/mm}^2)$	弾性係数 $E_s(\text{kN/mm}^2)$	降伏ひずみ $\epsilon_s(\mu)$	降伏強度 $f_{sy}(\text{N/mm}^2)$	弾性係数 $E_s(\text{kN/mm}^2)$
No.1	1.0	37.9	3.2	21.9	35.5	2.7	23.8	SD345	375	197	1905	575	209
No.2	0.5	41.0	2.7	26.0	40.6	2.9	26.4	SD345	369	191	1937	592	209

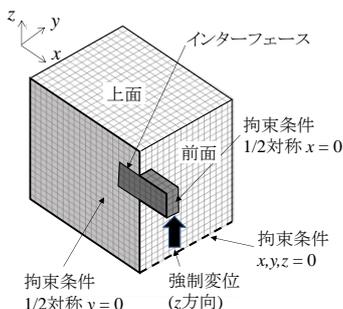


図 3 解析概要

表 2 解析パラメータ

	$d(\text{mm})$	$f'_c(\text{N/mm}^2)$	l_1/l_2
No.1	300	37.9	1.0
No.2	300	41.0	0.5
fc27d300	300	27.0	0.3, 0.7, 1.0
fc27d600	600	27.0	0.3, 0.7, 1.0
fc20d300	300	20.0	0.3, 0.7, 1.0
fc40d300	300	40.0	0.3, 0.7, 1.0

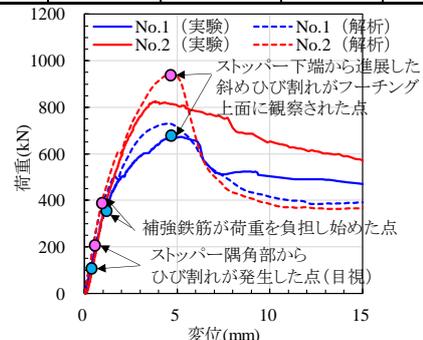


図 4 荷重変位関係 (No.1, No.2)

キーワード 鉄道橋梁, 鋼角ストッパー, 桁端, せん断耐力, 補強鉄筋

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 Tel : 042-573-7281

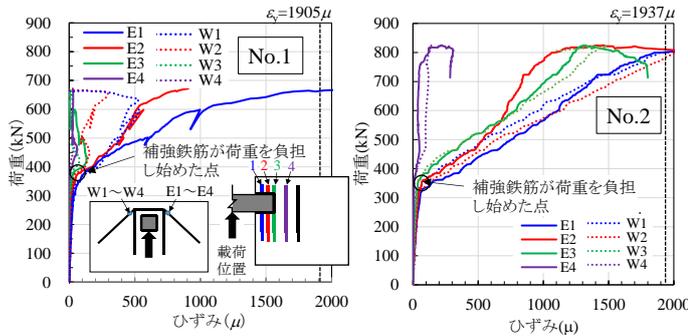


図5 荷重ひずみ関係(実験)

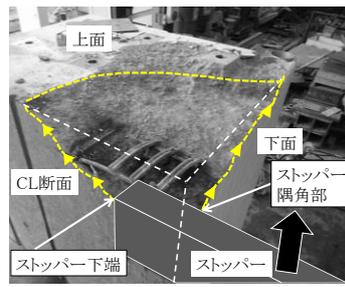


図6 損傷状況(No.1)

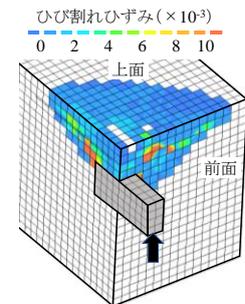


図7 ひび割れひずみ(No.1)

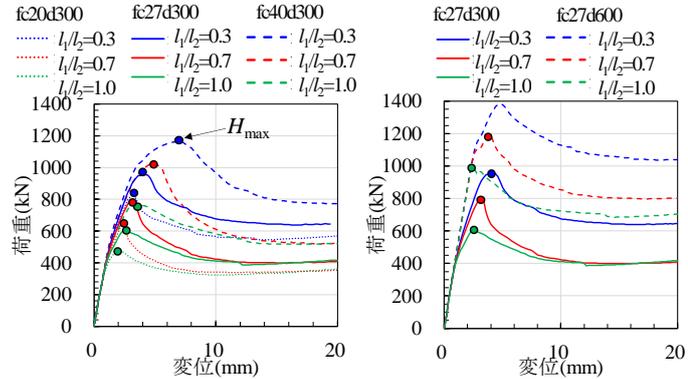


図8 荷重変位関係(f_c の影響) 図9 荷重変位関係(d の影響)

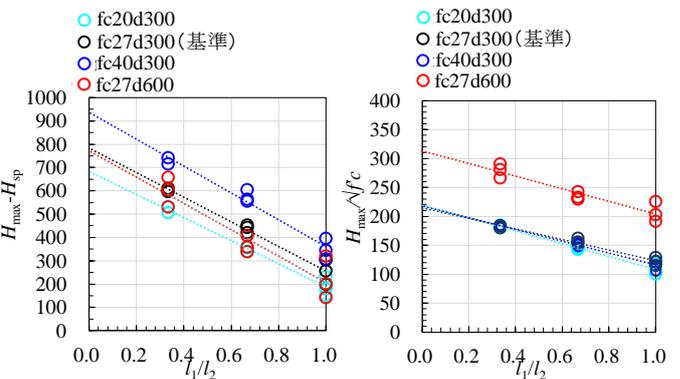


図10 $H_{max}-H_{sp}$ と l_1/l_2 の関係 図11 $H_{max}/\sqrt{f_c}$ と l_1/l_2 の関係

強鉄筋のひずみが増加して補強鉄筋が荷重を受け持ち始めた。そして、ひび割れが進展し、ストッパー下端からの斜めひび割れがフーチング上面に観察されると同時に最大荷重に至り、荷重が低下した。図4に、併せて、No.1, No.2を対象とした解析から得た荷重変位関係を示し、図7に、解析から得た最大荷重時のひび割れひずみを示す。なお、ひび割れひずみとは、引張強度に達した後に発生したひずみである。解析から得た荷重変位関係およびひび割れひずみから想定される損傷状況が、実験と概ね一致することから、本解析モデルを用いて、各諸元が補強鉄筋の受け持つ荷重に及ぼす影響を検討可能であると考えられる。

4. 補強鉄筋が受け持つ荷重

図8,9に、解析から得た荷重変位関係を示す。いずれも、 l_1/l_2 が減少するほど最大荷重 H_{max} は増加し、 f_c および d が増加するほど H_{max} は増加する。これは、 l_1/l_2 が減少するほど図2に示す補強鉄筋の載荷方向部とせん断破壊面が交差しやすくなるため補強鉄筋が受け持つ荷重が増加し⁴⁾、さらに、 f_c および d が増加するほどコンクリートや補強鉄筋が負担する荷重が大きくなるためであると考えられる。また、 l_1/l_2 が同じであれば、 d が増加しても最大荷重時の変位は同等の値となるが、 f_c が増加すると最大荷重時の変位は増加する。

式(1)に、コンクリートが受け持つ荷重として、補強鉄筋を用いない桁端のコンクリートのせん断耐力式を示す⁵⁾。

$$H_{sp} = 0.07 \cdot \sqrt{1000/d} \cdot \{1 + 1/(1 + 0.25u/d)\} \cdot \sqrt{f_c} \cdot d(2d + c + 2e) \tag{1}$$

ここに、 $u : c + 2e$, c : 鋼角ストッパーの幅, e : 埋込み長

図10に、 H_{max} からコンクリートが受け持つ荷重 H_{sp} を減じた $H_{max} - H_{sp}$ と l_1/l_2 の関係を示す。 d をパラメータとした解析ケースは基準の解析ケースと概ね一致するが、 f_c をパラメータとした解析ケースは一致しない。このことから、コンクリートが受け持つ荷重以外を補強鉄筋が受け持つと考え、 d の増加は補強鉄筋が受け持つ荷重に影響を及ぼさないが、 f_c の増加は補強鉄筋が受け持つ荷重に影響を及ぼす。

図11に、せん断強度を表す $\sqrt{f_c}$ を用いて H_{max} を除いた $H_{max}/\sqrt{f_c}$ と l_1/l_2 の関係を示す。 f_c をパラメータとした解析ケースは基準の解析ケースと概ね一致することから、 f_c が補強鉄筋の受け持つ荷重に及ぼす影響は、 $\sqrt{f_c}$ を用いて評価できると考えられる。

5. まとめ

ストッパー周りにひび割れが発生すると、補強鉄筋が荷重を負担し始め、ひび割れが進展してフーチング上面にひび割れが生じて最大荷重に至る。そのため、補強鉄筋をせん断破壊面と交差しやすいように配筋することで補強鉄筋が受け持つ荷重が増加し、最大荷重は増加する。 d は補強鉄筋が受け持つ荷重に影響を及ぼさず、 f_c は補強鉄筋が受け持つ荷重に影響を及ぼすが、その影響は $\sqrt{f_c}$ で評価できると考えられる。

【参考文献】1)土木学会：コンクリート標準示方書設計編，土木学会，2012 2)Hikaru NAKAMURA：Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Modeling of Inelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads, ASCE, pp.471-487, 2001 3) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物，平成16年4月 4)岡本ら：補強鉄筋の配置位置が鋼角ストッパー周辺のコンクリートのせん断破壊に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.41 投稿中 5)岡本ら：鋼角ストッパー周辺の桁端のせん断破壊メカニズムに関する一考察，コンクリートの補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.18, pp.197-202, 2018.10