

鋼角ストッパー埋込み部のコンクリートに生じる水平力に関する解析的検討

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○轟俊太朗, 笠倉亮太, 岡本大
 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 進藤良則, 石井秀和, 井上翔, 下津達也

1. はじめに

鋼角ストッパー(以降, ストッパー)埋込み部のコンクリートの設計は, 一般的に塑性域を考慮せず弾性域で行われる¹⁾. しかし, 東北地方太平洋沖地震等により, ストッパー埋込み部のコンクリートにせん断破壊と考えられる損傷が生じた. その後, フーチングに埋め込んだストッパーを用いた模型実験^{2),3)}により, ストッパー埋込み部のコンクリートがせん断破壊した場合, その限界値と共に, ストッパー埋込み部のコンクリートに生じる水平力(応答値)を評価する必要があることが明らかとなった. 本研究では, 実験では計測の難しいストッパー埋込み部のコンクリートに生じる水平力について, FEM を用いて検討した.

2. 実験概要

表 1, 図 1, 図 2 に, 解析対象である既往の実験^{2),3)}における供試体の諸元を示す. No.1 は実大スケール, No.2~No.5 はその 1/3 縮小スケールの供試体である. No.2~No.5 は, No.3 を基準とし, d , a , 補強鉄筋の径を変化させた. 全ての供試体でストッパー埋込み部のコンクリートがせん断破壊に至った. せん断破壊性状は, じん性的であり, フーチング上面にひび割れが生じ, そのひび割れが進展すると共に, フーチング上面に近い順から補強鉄筋が降伏し, 最終的にはフーチング前面までひび割れが到達して破壊に至った.

3. 解析方法

図 3 に, 解析領域のモデル化および境界条件を示す. 解析モデルは, 3 次元とし, ストッパー中央を対称面とした 1/2 モデルとした. 荷重は実験での荷重位置に強制変位, 拘束はストッパー中央の 1/2 対称面を y 方向固定, フーチング下端面を xyz 方向完全固定とした.

図 4 に, コンクリートの構成則を示す. 引張強度¹⁾, 引張破壊エネルギー¹⁾, 圧縮破壊エネルギー⁴⁾は圧縮強度から算出した. 鉄筋はパイリニア, ストッパーはリニア, ストッパーとフーチング間のインターフェースは接触した場合のみ剛とするノーテンションモデルとした.

4. 解析の妥当性の検証

図 5, 図 6 に, 荷重-変位関係を示す. 荷重-変位関係は概ね実験と一致した. なお, ひび割れや補強鉄筋の降伏等の損傷の進展状況も一致することを確認している.

図 7 に, No.1 を例に, 実験での荷重終了時のひび割れおよび解析での最大荷重時の塑性ひずみを示す. 解析での塑性ひずみは, 実験でのフーチング上面から前面に

表 1 供試体の諸元

No.	d	a	補強鉄筋呼び名	ストッパー断面寸法 幅×高さ×角型鋼管厚	f_c^*	E_c	f_{sy}	E_s
1	300	900	D16	300×300×22	23.6	27.5	427	187
2	50	300	D10	100×100×9	23.3	26.5	413	186
3	100							
4	100	100	D16				386	182
5		300						

d : ストッパー端からフーチング前面までの距離 (mm), a : ストッパー埋込み長 (mm), f_c , E_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²), ヤング係数 (kN/mm²), f_{sy} , E_s : 補強鉄筋の降伏強度 (N/mm²), ヤング係数 (kN/mm²), ※コンクリートの粗骨材の最大寸法 13mm

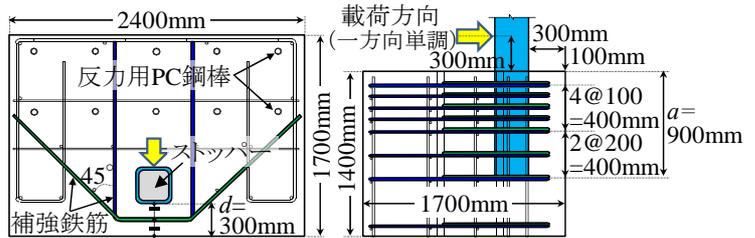


図 1 供試体の形状および配筋 (No.1)

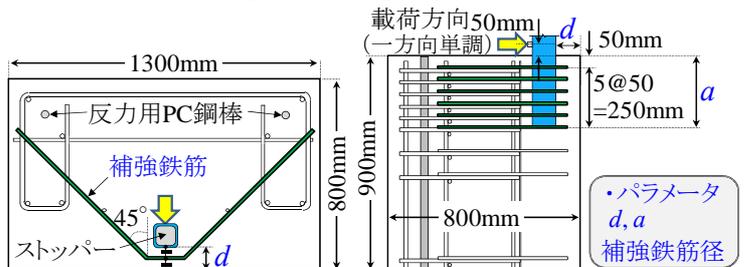


図 2 供試体の形状および配筋 (No.2~No.5)

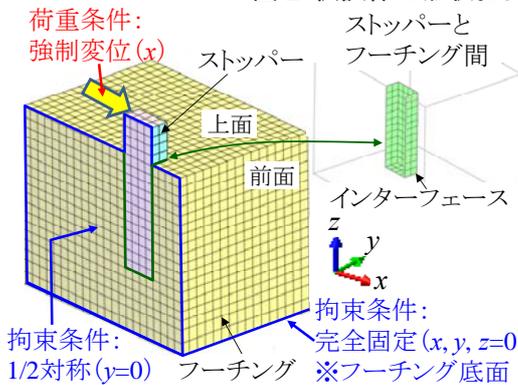


図 3 解析領域のモデル化および境界条件

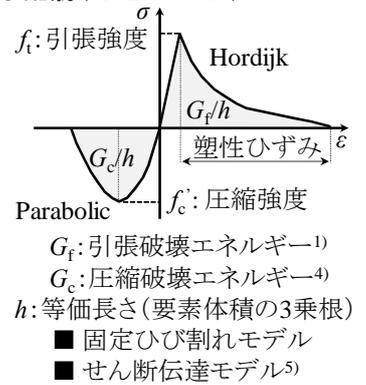


図 4 コンクリートの構成則

キーワード: 鋼角ストッパー, ストッパー埋込み部のコンクリート, せん断破壊, 補強鉄筋の降伏, 水平力

連絡先: 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総研 構造物技術研究部 コンクリート構造, TEL: 042-573-7281

生じたひび割れと同様に発生した。以上より、解析からストッパー埋込み部のコンクリートに生じる水平力を概ね推定できると考えられる。

5. ストッパー埋込み部のコンクリートに生じる水平力

図8に、No.1を例に、ストッパー埋込み部のコンクリートに生じる水平力の推移を示す。水平力は、ストッパーとフーチング間のインターフェースに生じる応力と面積から求めた。ストッパー前面に生じる水平力は、

載荷初期ではフーチング上面から順に大きいが、荷重が増加するに従い、ひび割れや補強鉄筋の降伏等から、フーチング深部に力が分配され、その分布は三角形からく形に近い形状となった。ストッパー後面に生じる水平力は、ストッパー下端のみで生じ、荷重と共に増加し、最大荷重以降(807kN)も増加した。なお、設計では、図9に示すように、ストッパー前面・後面に生じる水平力を三角形分布とするため、解析結果と異なる。図10に、No.2~No.5の最大荷重時の水平力分布を示す。ストッパー前面に生じる水平力は三角形またはく形に近い分布となり、ストッパー後面に生じる水平力はストッパー下端のみで生じた。

表2に、最大荷重時のストッパー前面に生じる水平力と荷重の比を示す。解析でのストッパー前面に生じる水平力は図8(最大荷重時866kN)、図10から求めた。なお、荷重およびストッパー前面・後面で生じるコンクリートからの反力(水平力)との力の釣合いが成立することは確認している。併せて、図9の水平力分布に従い、三角形の重心にストッパー前面・後面の水平力が生じるとして求めた設計でのストッパー前面に生じる水平力と荷重の比を示した。その比は、解析ではストッパーの埋込み長およびストッパー端とフーチング前面までの距離が長く、補強鉄筋の径が大きくなると小さくなる傾向であった。一方で、設計ではストッパー端とフーチング前面までの距離および補強鉄筋の径が異なる場合でもストッパー埋込み長が同じであれば、その比は同一である。解析では1.92~2.19、設計では1.56~2.04であった。解析結果から、ストッパー後面に生じる水平力がストッパー最下端に生じるとすると、ストッパー前面に生じる水平力は荷重の2倍程度であるため、図11に示すように、その重心は載荷点からストッパー最下端までの距離の1/2点程度になると考えられる。

表2に、最大荷重時のストッパー前面に生じる水平力/荷重

No.	解析	設計
1	2.17	1.75
2	2.19	1.56
3	1.96	1.56
4	2.06	2.04
5	1.92	1.56

図11に示すように、その重心は載荷点からストッパー最下端までの距離の1/2点程度になると考えられる。

6. まとめ

ストッパー埋込み部のコンクリートが補強鉄筋の降伏を伴ってせん断破壊する場合、最大荷重時のストッパー前面に生じる水平力は、本解析対象の諸元の範囲において、荷重の1.92~2.19倍であった。また、ストッパー埋込み部のコンクリートに生じる水平力の分布形状からストッパー後面に生じる水平力はストッパー最下端、ストッパー前面に生じる水平力の重心は載荷点からストッパー下端までの距離の1/2点程度となると考えられる。

【参考文献】 1) (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 2) 西ら:鋼角ストッパー周辺のコンクリートの破壊性状に関する検討,コンクリート工学年次論文集,Vol.37, No.2, pp.1-6, 2015 3) 笠倉ら:鋼角ストッパー埋込み部のコンクリートの破壊に関する実験的検討,コンクリート工学年次論文集,Vol.38, 2016 4) Hikaru NAKAMURA, Takeshi HIGAI : Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Modeling of Inelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads, ASCE, pp.471-487, 2001 5) 土木学会:コンクリート標準示方書 設計編,2012

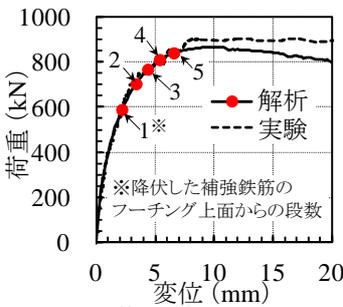


図5 荷重-変位 (No.1)

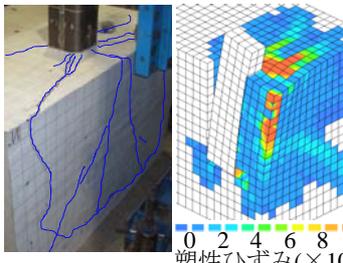


図7 ひび割れ状況 (No.1)

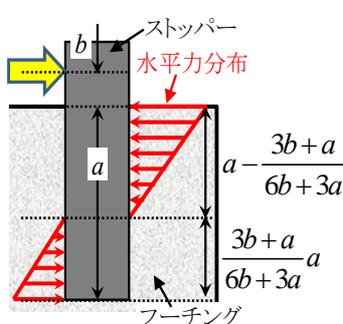


図9 設計での水平力分布

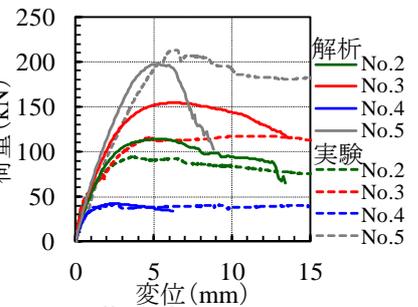


図6 荷重-変位 (No.2~No.5)

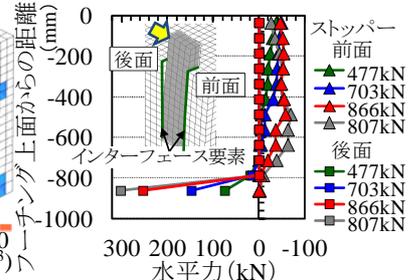


図8 水平力の推移 (No.1)

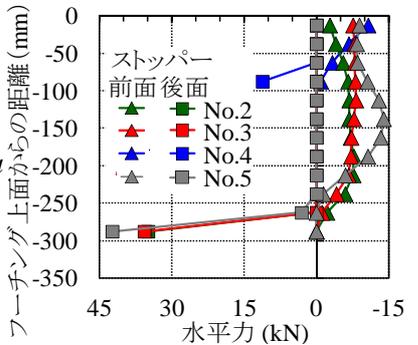


図10 最大荷重時の水平力分布

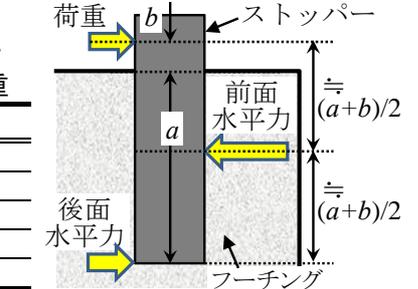


図11 水平力の作用点