

鋼角ストッパー周辺の桁端・桁座の損傷が相互の断面力に与える影響

東急建設(株) 正会員 ○笠倉亮太

(公財) 鉄道総合技術研究所 轟俊太郎, 岡本圭太, 草野浩之, 田所敏弥

1. はじめに

過去の地震で、ストッパーの埋込み部のコンクリートが損傷した。設計ではストッパーは耐力設計であることから、ひび割れ等の損傷状態と耐力の関係が不明確である。また、損傷箇所によっては検査や修復が困難な場合もあることから、今後、復旧性を考慮した設計法の確立が必要である。筆者らは、これまでストッパー周辺の桁端と桁座を分離し、桁端・桁座を個別に模した試験体の載荷試験、FEM を実施し、ストッパーの埋込み部のコンクリートの破壊性状の検討を行ってきた¹⁾²⁾。本検討では、桁(桁端)と橋脚(桁座)に埋め込まれたストッパーを一体としてモデル化した FEM を実施し、断面力等を設計の仮定と比較することで、桁座・桁端に発生するひび割れが桁座・桁端相互の支圧力分布やストッパーの曲げモーメント分布に与える影響について検討した。

2. 鋼角ストッパーの設計

RC 標準³⁾では、ストッパーを剛体と仮定し、図-1 に示す支圧応力分布を桁端は等分布、桁座は三角形分布と仮定することで、ストッパーに生じる断面力を算出し、ストッパー本体、埋込み部のコンクリートの破壊に関する照査を行う。ここで、 a 、 e は桁座、桁端のストッパー埋込み長、 b は桁座の上面から桁端埋込み長 e の 1/2 までの距離、 c はストッパー幅、 d はストッパー前面から外縁までの距離、 σ'_1 、 σ'_2 、 σ'_3 はストッパー埋込み部における圧縮応力度である。

3. 解析概要

解析モデルの諸元を表-1、使用材料の特性値を表-2、耐力算定値を表-3、解析モデルを図-2 に示す。なお、表-3 に示す各耐力は、RC 標準³⁾、表-2 を用いて算出した各限界値に対する水平力である。解析モデルは、実構造物を参考とし、横桁中心を対称とした 3次元 1/2 モデルである。桁端・桁座のストッパー埋込み部とゴム支承

の上下面にはインターフェースを配置し、ゴム支承と桁座コンクリート間は法線方向の圧縮のみ剛とするノーテンションモデル、ゴム支承と台座コンクリート間はゴム支承の滑動防止のため剛とした。コンクリートと鉄筋の材料構成則は既往の研究¹⁾²⁾と同様である。コンクリートの引張強度および引張破壊エネルギーは RC 標準³⁾、圧縮破壊エネルギーは既往の研究⁴⁾により算出した。ひび割れモデルは回転ひび割れモデルを用いた。なお、ストッパーは線形とした。配筋は実構造物と同様であり、桁座・桁端の補強鉄筋のみ非線形とし、他は線形とした。載荷は、橋脚下端を完全拘束とし、主桁断面に+x 方向の強制変位を与えている。

4. 解析結果

4. 1 破壊状況

荷重-変位関係を図-3、損傷状況を図-4 に示す。図-3 中に示す荷重はストッパー1本あたりに作用する水平力であり、変位は桁の水平変位である。荷重の増加に従い、桁端・桁座共にストッパーの隅角部からひび割れが発生し、 $P=783\text{kN}$ 時に桁端の埋込み部のコンクリートにひび割れが急激に進展して荷重が低下した。最大荷重時には桁端・桁座の補強鉄筋は降伏には至っておらず、桁端の補強鉄筋が、最大荷重後に降伏に至っている。これはひび割れの発生角度がやや相違するものの、桁端を模擬した載荷試験を実施している既往の研究¹⁾と同様な破壊状況となった。

4. 2 曲げモーメントと支圧応力分布

ストッパーの曲げモーメント分布を図-5 に示す。図-5 には設計で想定する曲げモーメント分布を破線にて示す。なお、408kN は荷重低下後である。ストッパーの曲げモーメントは、図中に示す要素のひずみから曲率

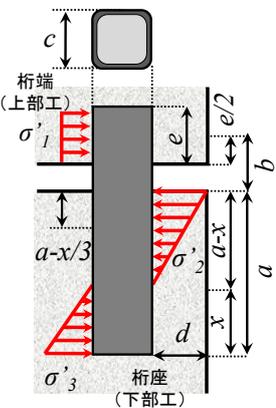


図-1 支圧応力分布

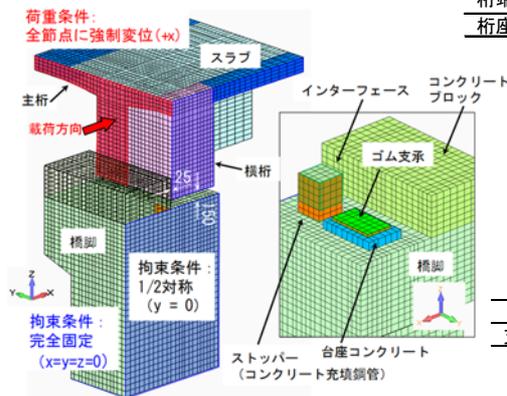


図-2 解析モデル(単位:mm)

表-1 解析諸元

部位	ストッパー		a (e) mm	b mm	d mm	x mm	補強鉄筋 規格-径- 有効本数
	寸法 mm	曲げ剛性 kN/mm ²					
桁端	350*350*9	7.29 × 10 ¹⁰	350	150	300	506	SD345-D19-8
桁座			1300		350		SD390-D22-4

表-2 材料特性値

部位	コンクリート		鉄筋	
	f _c MPa	E _c GPa	f _y MPa	E _s GPa
主桁	40	31	345	200
横桁	30	28		
ストッパー	24	25	-	200
橋脚	24	25	390	200

表-3 耐力算定値

桁端			桁座			
支圧	せん断	補強鉄筋	上支圧	下支圧	せん断	補強鉄筋
H _{F1} kN	H _{SP} kN	H _{SY} kN	H _{F2} kN	H _{F3} kN	H _{SP} kN	H _{SY} kN
3675	2264	1581	1985	3120	2372	1281

キーワード 鋼角ストッパー, 桁端, 桁座, せん断破壊面

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

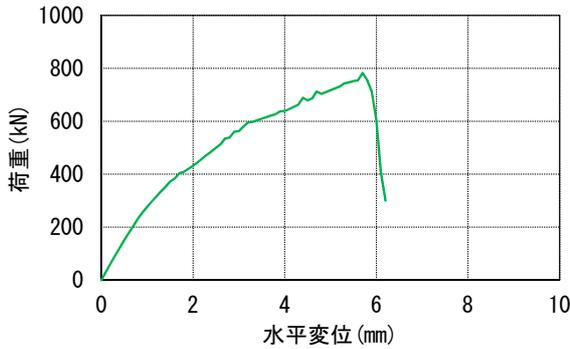


図-3 荷重-変位

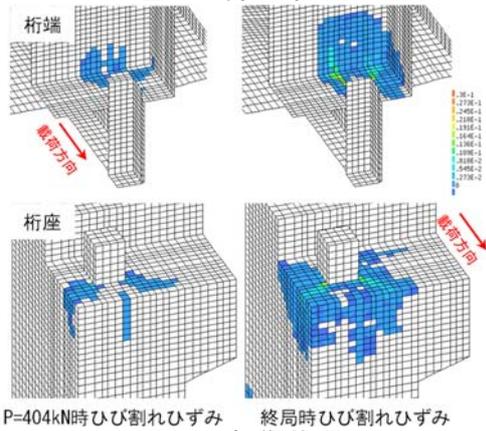


図-4 損傷状況

分布を算出して求めた。曲げモーメントは、ストッパーを剛体と仮定した設計よりもやや小さい傾向にあるものの、その分布形状は設計と同様である。

ストッパー近傍のコンクリートの支圧応力分布を図-6に示す。凡例は図-5と同様である。また、図-6に示す支圧応力分布はストッパーとコンクリート間のインターフェースに生じる応力である。桁座の支圧応力分布は、最大荷重 $P=783\text{kN}$ までは桁座天端に応力が集中する傾向にある。これは、ストッパーが剛体とみなせ、かつ桁座の補強鉄筋は降伏しないなど桁座が弾性状態とみなせる損傷程度であったためであると考えられる。桁端の支圧応力分布は、最大荷重以前において、設計で仮定する等分布ではなく、桁下端に近いほど応力が大きい台形分布となる。支圧応力分布が桁下端に応力が集中すると、集中の程度によっては設計で仮定するせん断破壊面よりも破壊面が小さくなり、設計よりも耐力が低下する可能性がある⁵⁾。ただし、図-7に示すように、せん断破壊線に与える支圧応力分布の形状の影響は小さく、せん断破壊線は、設計の仮定と同様であったことから、支圧応力分布は設計の仮定と同じく等分布と仮定してもよいと考えられる。なお、最大荷重以降に桁下端の支圧応力度が低下しており、コンクリートの損傷により分布形状が変化している。

5. おわりに

桁座・桁端を一体としてモデル化したFEMを実施した結果、桁座・桁端に発生するひび割れが桁座・桁端相互の支圧力分布やストッパーの曲げモーメント分布に与える影響は小さいと考えられる。

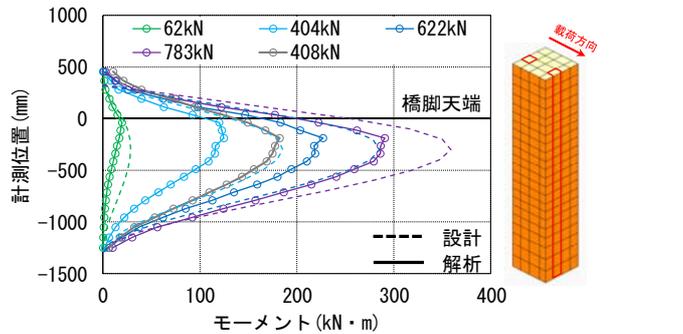


図-5 曲げモーメント分布

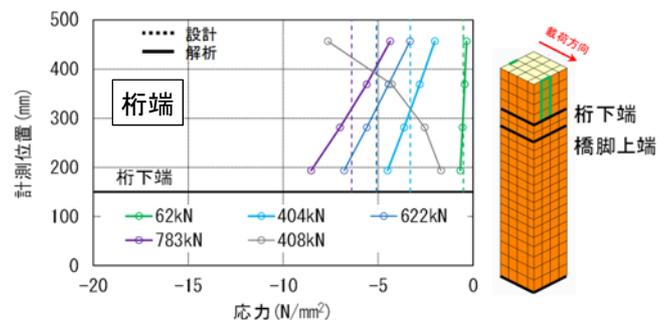
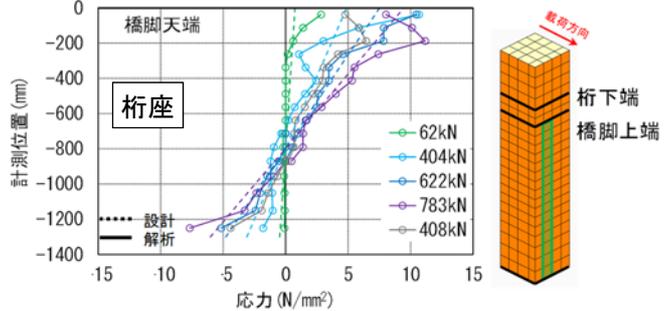


図-6 支圧応力分布

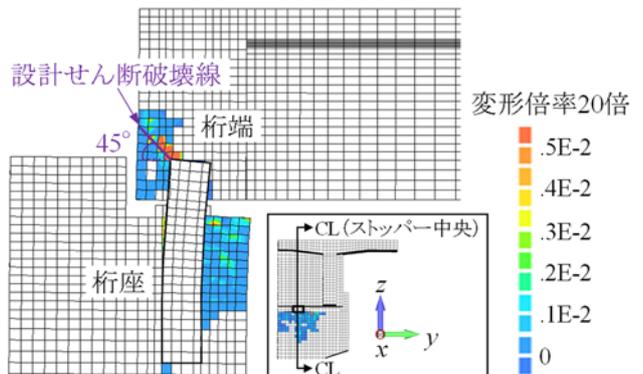


図-7 桁端のせん断破壊線 (ストッパー中央断面)

参考文献

- 1) 笠倉亮太ほか: 鋼角ストッパー桁端埋込み部の破壊性状に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, vol.39, No.2, pp679-684, 2017
- 2) 岡本圭太ほか: 鋼角ストッパー周辺のコンクリートのせん断破壊メカニズムに関する一考察, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, vol.17, pp315-320, 2017
- 3) (公財)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, 丸善, 2004
- 4) 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
- 5) 轟俊太郎ほか: 鋼角ストッパー周辺のコンクリートのせん断破壊性状に及ぼすストッパーの曲げ変形の影響, 土木学会年次学術講演会公演概要集, Vol.70, 1-255, pp.509-510, 2015