#### -069

# 水平力に対するストッパー埋込み部の耐荷機構に関する一考察

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 〇高橋健 田所敏弥

### 1. はじめに

鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造)<sup>1)</sup>(以下:コンクリート標準) に示される,鋼角ストッパーを用いるストッパー埋込み部のコンクリート(以下:桁座)の支圧 応力分布を図-1 に示す.コンクリート標準においては,埋込み長の短いストッパーを想定し ており,ストッパーを剛体と仮定し,桁座の支圧応力は式(1)および(2)で評価する.

 $\sigma'_{1d} = 2H_{sd} \cdot (2a+3b) / (a^2 \cdot c) \cdots (1), \quad \sigma'_{2d} = 2H_{sd} \cdot (a+3b) / (a^2 \cdot c) \cdots (2)$ 

ここに, σ'<sub>1d</sub>: 桁座上面の支圧応力, σ'<sub>2d</sub>: ストッパー下端の支圧応力, a: 桁座埋 込み長, b: 桁座上面から載荷点までの距離, c: ストッパーの幅(図-1 に示すストッ パーの奥行き), H<sub>sd</sub>: ストッパーに作用する水平力



近年の設計地震動の増大に伴い,ストッパーの埋込み長は長くなる傾向であり,ストッパーを剛体とする仮定は実構造物の挙動と異なっている可能性がある.よって,桁座の応力状態や耐荷機構の把握を目的とし,埋込み長を変化させた FEM 解析および載荷実験を行った.

## 2. FEM 解析を用いた桁座の支圧応力に対する検討

#### 2.1解析手法

図-2 に FEM 解析モデルの概略図を示す.支圧応力について検討するため,ここでは 2 次元でモデル化した.ストッパーは角型鋼管と充填コンクリートを考慮した線形部材,桁座は補強鉄筋を離散要素でモデル化した線形部材とした.また,ストッパーと桁座の界面には,接触や剥離を模擬するための線形バネ要素を配置した.表-1 に解析ケースおよび解析の諸元を示す.コンクリートの圧縮強度は 30N/mm<sup>2</sup>,ヤング係数は 28kN/mm<sup>2</sup>とした.

#### 2.2解析結果

図-3 および図-4 に桁座上面が圧縮強度に達したときの最小主応力および支圧応力の分布を示す. 図-3 および図-4 より, 埋込み長 250mm では, 支圧応力が概ね直線に分布し, 図-1 に示す設計の仮定と一致する. 一方, 埋込み長 750mm では, 桁座上面とストッパー下端周辺で, 支圧応力が増大することが分かった.



キーワード 桁座,鋼角ストッパー,埋込み長,支圧応力,押抜きせん断破壊 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コンクリート構造 TEL:042-573-7281

## 3. 載荷実験による桁座耐荷機構の検討

### 3.1実験概要

表-2 に供試体諸元および設計限界値 と実験結果の一覧を示す.供試体はスト ッパーの埋込み長を変化させた3体であ り,桁座上面から100mmの位置を載荷 点とし,単調漸増載荷を行った.

## 3.2実験結果および考察

E200 供試体は,桁座の押抜きせん断破壊,E 300 および E 400 供試体は,鋼管の曲げ破壊により荷重 低下し載荷を終了した.図-5 に,E 200 の載荷点位 置の荷重-変位関係を示す.図-5 より支圧の設計限 界値を超える荷重範囲においても,荷重-変位関係 の傾きに大きな変化は見られない.また,押抜きせ ん断破ひび割れ発生後,さらにストッパー前面の圧 壊後も急激な荷重低下は生じていない.表-3 からは, 最大荷重は支圧の設計限界値を大きく超えること, ストッパーの埋込み長が長くなるに従い,ひび割れ 発生荷重が大きくなることが分かる.

図-6 に, E200 供試体のストッパーの曲率分布を示 す.図-6 に示すストッパーの曲率分布はほぼ直線で ある.曲率と曲げモーメントは比例するため,実験

結果より得られたストッパーの曲げモーメントは直線分布であるといえる.ここで、図-7に水平力に対する桁座の 耐荷機構の概念図を示す.これは、図-6に示す実験結果より得られたストッパーの曲率分布、すなわち曲げモーメ ント分布を発生させる、桁座の対荷機構の概念図である.図-7より、ストッパーに作用した水平力が、桁座上面お よびストッパー下端で桁座に伝達される場合に、実験結果と同様の曲げモーメント分布となることが分かる.また、 図-5に示す FEM 解析においても、埋込み長が長いストッパーは桁座上面およびストッパー下端の支圧応力が増大 するという結果が得られており、実験結果および解析結果は同様の傾向を示している.以上より、埋込み長が長い ストッパーは、水平力によって図-7に示すように変形し、桁座上面およびストッパー下端で桁座に接して、ストッ パーに作用した水平力は、桁座上面およびストッパー下端で桁座に伝達されるものと考えられる.

また,図-7に示した水平力分布の仮定をもとで,桁座上面に作用する水平力 H<sub>sd2</sub>をストッパーに作用する水平力 H<sub>sd2</sub>の関数として表すと, H<sub>sd2</sub>= H<sub>sd</sub>・(a+b)/a となる.これは,桁座上面に作用する水平力 H<sub>sd2</sub>は,ストッパーに作用する水平力 H<sub>sd</sub>より大きく,埋込み長の増加に従い小さくなること示している.これは,表-3示した埋込み長の増加に伴い,ひび割れ発生荷重が増加する傾向と一致する.

図-8 に E200 供試体の載荷終了後の押抜きせん断破壊の状況を示す.図-8 より,せん断破壊面は,桁座上面を起 点とすることが分かった.押抜きせん断破壊面からも,桁座上面に大きな水平力が作用していたことが推定できる.

## 4.まとめ

(1) 実験では,設計支圧耐力に達しても顕著な剛性低下や荷重低下はせず,押抜きせん断破壊後も急激な荷重低下は生じなかった.また,押抜きせん断破壊は桁座上面を起点としていた.

(2) 埋込み長が長いストッパーでは、ストッパーに作用した水平力は、桁座上面およびストッパー下端で桁座に伝達され、桁座上面に作用する水平力は埋込み長の影響を受ける可能性があることが、FEM 解析と実験より分かった. 参考文献 1) 財団法人鉄道総合技術研究所編: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

### 表-2 供試体諸元および設計限界値と実験結果の一覧

供試体	供試体諸元					設計限界値		実験結果		
	角型鋼管			コンクリート		$\sigma'_{1d}$ 時	$\sigma'_{2d}$ 時	ひび割れ	最大	
	С	а	t	$f_{\rm c}$	d	の荷重	の荷重	発生荷重	荷重	破壊要因
	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	kN	kN	
E200	100	200	12	27.5	350	79	110	193	268	押抜
E300		300	12	28.5	450	142	213	210	446	鋼管曲げ
E400		400	12	28.5	550	207	325	324	450	鋼管曲げ

*a*,*c*:式(1),(2)参照,*d*:ストッパー前面から桁座自由縁までの距離,*t*:角型鋼管の板厚 *f*<sub>c</sub>:コンクリートの一軸圧縮強度の実験値

ひび割れ発生荷重: 桁座上面の押しぬきせん断ひび割れを目視確認した荷重

