

# 論文 鋼棒ストッパー埋込み部の水平耐力算定式に関する検討

田畑 勝幸\*1・轟 俊太郎\*2・堂内 悠吾\*3・田所 敏弥\*4

**要旨：**過去の地震で鉄道橋りょうに配置される鋼棒ストッパー埋込み部に損傷が生じた。本研究では、鋼角ストッパー埋込み部に対して提案された水平耐力式を参考に、鋼棒ストッパーを対象とした水平耐力式を提案し、鋼棒ストッパー埋込み部の既往の実験結果を用いて、提案した水平耐力式の精度を検討した。その結果、鋼棒ストッパー埋込み部の水平破壊やかぶり部分の剥離に対する水平耐力は、鋼角ストッパー埋込み部の水平耐力式の破壊面の投影面積、水平耐力に有効な補強鉄筋の配置範囲の修正および、かぶり部分に生じる水平力を適切に考慮することにより概ね評価できることを示した。

**キーワード：**鉄道橋りょう, 鋼棒ストッパー埋込み部, 耐力算定式

## 1. はじめに

図-1に鉄道橋りょうの支承部を示す。ストッパーは、桁(桁端)と橋脚(桁座)に埋め込まれ(以降、桁座、桁端を総称してストッパー埋込み部)、移動制限装置や落橋防止装置として配置される。ストッパーには、角型鋼管内にコンクリートを充填した鋼角ストッパーと、丸鋼棒の鋼棒ストッパーがあり、主に桁長が15m程度以上の場合には鋼角ストッパーが、桁長が15m程度以下の場合には鋼棒ストッパーが用いられる。

鋼棒ストッパー埋込み部の設計<sup>1)</sup>では、地震による桁の慣性力などの水平力に対し、算定式(2章)により鋼棒ストッパー本体と埋込み部の耐力を評価して、鋼棒ストッパー本体は、L2地震時には降伏を許容し、鋼棒ストッパー埋込み部は、損傷しないよう設計される。一方で、過去の地震では、写真-1に示す鋼棒ストッパー埋込み部に損傷が生じた。支承部は高所かつ狭隘な箇所であり、復旧作業には時間を要するため、損傷を設計で制御できれば復旧性を向上できると考えられる。

既往の研究<sup>2)</sup>では、鋼棒ストッパー埋込み部には、図-2に示すように、荷重の低下を伴いつつ鋼棒ストッパー埋込み部が広範囲に損傷する水平破壊を生じる場合(i)や、鋼棒ストッパー降伏後に荷重は低下しないものの、

かぶり部分が剥離する損傷を生じる場合(ii)、鋼棒ストッパー埋込み部が損傷せず鋼棒ストッパーの降伏のみを生じる場合(iii)があり、それらに対する損傷メカニズムが検討されている。それらの損傷メカニズムに応じた鋼棒ストッパー埋込み部の水平耐力式があれば、設計時に損傷を制御することができる。

近年の研究<sup>3)</sup>では、鋼角ストッパー埋込み部を対象とした水平耐力式が示されており(3章)、鋼角ストッパー埋込み部を模擬した実大実験やFEM解析で得られた耐力を精度よく評価できることが報告されている。そこで本研究では、鋼角ストッパー埋込み部の水平耐力式を参考に、鋼棒ストッパー埋込み部に対する水平耐力式を提案し(4章)、これまでに実施されてきた鋼棒ストッパー埋込み部の実験結果<sup>2),4),5),6),7),8)</sup>(5章)を用いて、提案した水平耐力式の精度について検討する(6章)。

## 2. 現行の鋼棒ストッパー埋込み部の水平耐力算定式

鋼棒ストッパー埋込み部の水平耐力式<sup>1)</sup>においては、式(1)、式(2)に示すように、鋼棒ストッパー径 $\phi$ 、補強鉄筋量(断面積 $A_s$ 、本数)や補強鉄筋の降伏強度 $f_{sy}$ 、縁端距離 $d$ 、鋼棒ストッパー埋込み部のコンクリートの圧縮強度 $f'_c$ がパラメータとなっている。

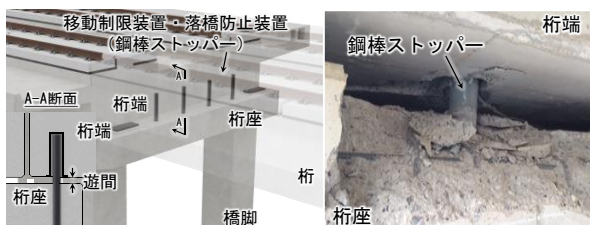
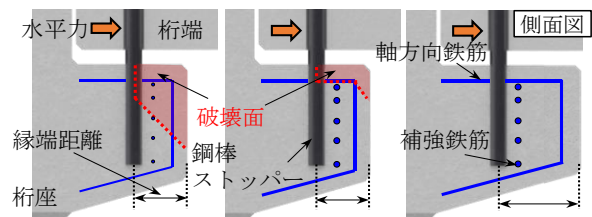


図-1 支承部の概要



写真-1 損傷事例



(i) 水平破壊 (ii) かぶり部分の剥離 (iii) 鋼棒ストッパーの降伏

図-2 鋼棒ストッパー埋込み部の破壊形態

*1 西日本旅客鉄道株式会社	大阪工事事務所	広島工事事務所	施設管理係	修(工)	(正会員)
*2 (公財)鉄道総合技術研究所	構造物技術研究部		主任研究員	博(工)	(正会員)
*3 ジェイアール総研エンジニアリング	構造技術部		主任		(正会員)
*4 (公財)鉄道総合技術研究所	構造物技術研究部		上席研究員	博(工)	(正会員)

図-2 (iii) の鋼棒ストッパー本体の耐力は、鋼棒ストッパーを桁端と桁座で固定された両端固定梁として耐力を算出する。このときのスパンは、既往の研究<sup>6)</sup>から、 $d_0$  (桁端下面と桁座上面の遊間)  $+0.5\phi$  としている。

式(1)では図-3の破壊面を基に、コンクリートの水平耐力を、式(2)では図-3に示す破壊面に交差する補強鉄筋の降伏耐力を算定する。これらの小さい方が鋼棒ストッパー埋込み部の水平耐力となる。

$$H_{sp} = f_{sp} \cdot A_{\tau} \quad (1)$$

ここに、 $f_{sp} = 0.19 \cdot \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot \sqrt{f'_c}$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1000/d} \leq 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_{sp}} \leq 1.5$$

$$\beta_r = 1 + 1/(1 + 0.25 \cdot 7\phi/d)$$

$A_{\tau} = 6\sqrt{2} \cdot d \cdot \phi + d(\phi + d)$  : 破壊面の面積 (mm<sup>2</sup>)

$H_{sp}$  : コンクリートの水平耐力 (kN)

$f'_c$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$d$  : 縁端距離 (鋼棒ストッパー中心から桁座、桁端縁端までの距離) (mm)

$p_{sp}$  : せん断引張鋼材比  $A_s/(3\phi \cdot d)$

$A_s$  : 図-3中に示す $3\phi$ の範囲に配置される補強鉄筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$\phi$  : 鋼棒ストッパーの径 (mm)

$$H_{sy} = f_{sy} \cdot A_s \cdot \cos\theta_s \quad (2)$$

$H_{sy}$  : 補強鉄筋の降伏耐力 (kN)

$f_{sy}$  : 補強鉄筋の降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\theta_s$  : 補強鉄筋が水平力軸と成す角 (°)

### 3. 既往の研究<sup>3)</sup>による鋼角ストッパー埋込み部の水平耐力算定式

鋼角ストッパー埋込み部に対する水平耐力式として式(3)、式(4)が提案されている。図-4に示す鋼角ストッパーから生じる70°のひび割れに交差する補強鉄筋が降伏して最大荷重に至るメカニズムを評価した式(3)、鋼角ストッパーからの70°のひび割れで形成される破壊面に交差する補強鉄筋が降伏する前に、鋼角ストッパー周辺に配置される補強鉄筋の折り曲げ位置を跨ぐひび割れが生じて最大荷重に至るメカニズムを評価した式(4)から算定される値の小さい方が、鋼角ストッパー埋込み部の耐力として評価される。

$$H_{po} = H_{c1} + H_{sy} \quad (3)$$

ここに、 $H_{c1} = f_{po} \cdot A_{\tau 1}$ ,  $f_{po} = 0.17/1.08 \cdot \sqrt{f'_c}$

$H_{po}$  : 水平耐力 (kN)

$H_{c1}$  : コンクリートの水平耐力 (kN)

$H_{sy}$  : 鉄筋の降伏耐力 (kN)

$f_{po}$  : せん断強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_{\tau 1}$  : 破壊面の投影面積(mm<sup>2</sup>)

$$H_{c2} = \eta \cdot f_{po} \cdot A_{\tau 1} \quad (4)$$

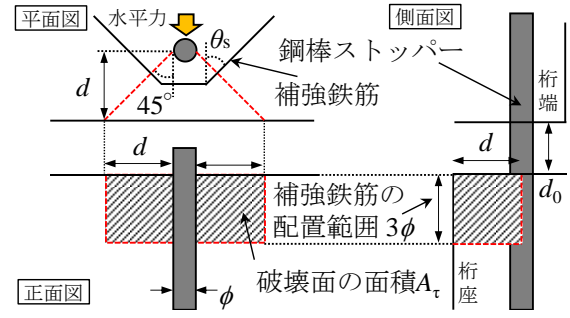


図-3 式(1)の破壊面の面積  $A_{\tau}$

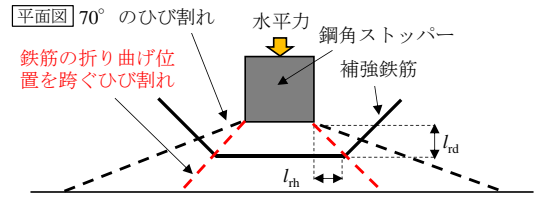


図-4 鋼角ストッパーの水平耐力式の概要

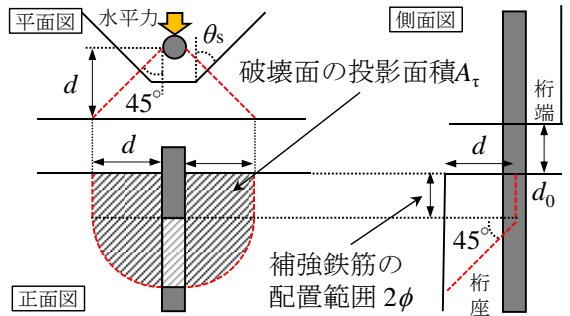


図-5 式(3)の破壊面の投影面積  $A_{\tau}$

ここに、 $\eta = 1.66 \cdot \sqrt{l_{rd}/l_{rh}} \geq 1.0$

$l_{rd}, l_{rh}$  : ストッパー外縁から鉄筋の折り曲げまでの荷重軸方向の距離、荷重軸直行方向の距離

ここで、 $f_{po}$ にかかる1/1.08は、実験値と解析値の差を考慮した係数である<sup>3)</sup>。

### 4. 提案する鋼棒ストッパー埋込み部の水平耐力算定式

#### 4.1 鋼棒ストッパー埋込み部の水平耐力算定式

鋼棒ストッパー埋込み部の図-2(i)に対する水平耐力式は、鋼角ストッパー埋込み部の場合と同じく、実験で得られた破壊面の投影面積とした。

鋼棒ストッパー埋込み部の破壊面の投影面積は、鋼棒ストッパー埋込み部が水平破壊した実験<sup>2)</sup>から、図-5のように鋼棒ストッパーの埋込み長 $2\phi$ から成る破壊面を基に、式(5)のように仮定した。また、鋼棒ストッパー埋込み部の水平耐力に有効な補強鉄筋の配置範囲も同様に $2\phi$ とし、補強鉄筋の降伏耐力 $H_{sy}$ により評価する。

$$A_{\tau 1} = d \cdot (\pi/2 \cdot d + 5 \cdot \phi) \quad (5)$$

#### 4. 2 鋼棒ストッパー埋込み部のかぶり部分の剥離に対する水平耐力算定式

既往の研究<sup>2)</sup>では、鋼棒ストッパー降伏後に、かぶり部分の剥離が生じる場合があり、この損傷は、縁端距離の増加によって抑制できることが報告されている。そこで、鋼棒ストッパー埋込み部の図-2(ii)に対する水平耐力式は、かぶり部分に形成される破壊面の投影面積として図-6のように定めた。ここで、鋼棒ストッパー埋込み頂部で確保されるかぶりと鋼棒ストッパーの直径は、概ね同程度であることから、設計の便宜上、鋼棒ストッパーの埋込み部から鋼棒ストッパーの直径 $\phi$ の深さを基に破壊面を仮定することとし、式(6)とした。

$$A_{t1} = d \cdot (\pi/2 \cdot d + 3 \cdot \phi) \quad (6)$$

鋼棒ストッパー降伏後は、図-7に示すように埋込み部表層に圧縮応力が集中するため、かぶり部分の破壊面に生じる水平力の割合は、鋼棒ストッパー埋込み部に生じる水平力の0.4~0.7程度となる<sup>2)</sup>。鋼棒ストッパー埋込み部のかぶり部分の剥離に対する水平耐力と水平力を直接比較するため、かぶり部分の破壊面に生じる水平力の、鋼棒ストッパー埋込み部に生じる水平力に占める割合を $\alpha$ としてかぶり部分の剥離に対する水平耐力の算定式とした。

かぶり部分の剥離は、鋼棒ストッパー埋込み部に配置される補強鉄筋が効かないことから、補強鉄筋の降伏耐力 $H_{sy}$ は水平力を負担しないこととし、かぶり部分の剥離時の水平耐力 $H'_{po}$ は、式(7)にて評価することとした。

$$H'_{po} = 1/\alpha \cdot H_{c1} \quad (7)$$

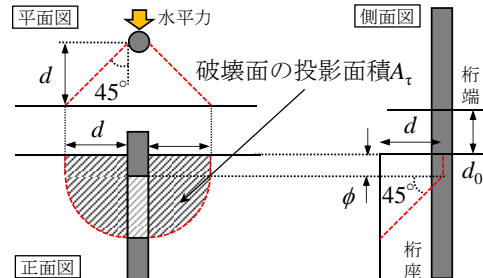


図-6 かぶり部分の剥離に対する破壊面の投影面積

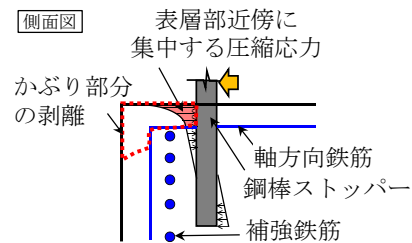


図-7 鋼棒ストッパー降伏後の圧縮応力分布

表-1 鋼棒ストッパーに関する試験体の諸元

No	名称	鋼棒径 $\phi$	鋼棒の埋込長	遊間 $d_0$	鋼棒降伏強度 $f_{sy}$	圧縮強度 $f_c$	縁端距離 $d^{*4}$	破壊形態	鋼棒降伏荷重	最大荷重	参考文献								
		(mm)	(mm)						(mm)	(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(kN)	(kN)				
1	-	75	300	62	265 <sup>*2</sup>	23.5 <sup>*3</sup>	400	(ii)	441	637	7)								
2	A-1	60	360	50	235.2 <sup>*2</sup>	26.4 <sup>*3</sup>	330	- <sup>*5</sup>	260	325	5),6)								
3	A-2			100				(ii)	(190) <sup>*6</sup>	304									
4	A-3			150				- <sup>*5</sup>	120	275									
5	C-2			50				130	(i)	(260) <sup>*6</sup>		198							
6	C-3							230	(i)	(260) <sup>*6</sup>		304							
7	AB-S	33	350	25	-	21.1	175	(i)	(123) <sup>*6</sup>	69.6	4)								
8	AB-L							23.2	225	(i)		(136) <sup>*6</sup>	115.6						
9	AB-S-C							22.1	175	(i)		(130) <sup>*6</sup>	125.4						
10	AB-S-D							23.3		(ii)		137	137.2						
11	AB-S-E							18.4		(ii)		107	107.8						
12	AB-SW <sup>*1</sup>							19.4		(i)		-	90.2						
13	AB-SW-C <sup>*1</sup>							19.1		(i)		-	222.5						
14	AB-SW-D <sup>*1</sup>							15.4		(i)		-	205.8						
15	No.1							600		100		100	310	41.1	350	(ii)	550	790(600 <sup>*7</sup> )	8)
16	No.2							400								39.4	(ii)	580	
17	No.1_桁座	600	293	47.1	(ii)	600	682(683 <sup>*7</sup> )												
18	No.1_桁端			47.2	(ii)	600	683(621 <sup>*7</sup> )												
19	No.2_桁座			268	48.1	(ii)	580	671(614 <sup>*7</sup> )											
20	No.2_桁端				49.3	(iii)	580	671以上											
21	No.3_桁座				309	32	(i)	(590) <sup>*6</sup>	419										
22	No.3_桁端			42.7		(iii)	(590) <sup>*6</sup>	419以上											

※1 ストッパー2本の試験体、※2 規格値、※3 設計基準強度、※4 ストッパー中心からの距離、※5 判定困難、

※6 他の試験体からの推定値、※7 かぶり部分の剥離発生時の荷重

## 5. ストッパー埋込み部の水平耐力に関する既往の実験

鋼棒ストッパー（以降、道路橋のアンカーバーを含めてストッパーと総称）埋込み部の水平耐力に関する既往の実験<sup>2),4),5),6),7),8)</sup>における各諸元を表-1に示す。

No.1~6, No.15~22 は、鉄道橋りょうの桁座、桁端を模擬した試験である。また、No.7~14 は、道路橋で用いられるアンカーバーを対象とした試験である。損傷形態は、参考文献先の試験体の損傷状況および荷重と変位の関係から、図-2に示す破壊形態(i)~(iii)に分類した。試験体名称には、参考文献先に名称がある場合にはその名称を記載した。

表-1に示すストッパーの降伏荷重は、荷重と変位の関係で、水平変位が急増し始める時の荷重とした。ここで、ストッパーの降伏荷重は、ストッパー埋込み部の水平破壊を生じた場合には確認できないが、ストッパー埋込み部の圧縮強度の影響があるものの桁座上面と桁端下面の遊間  $d_0$  とストッパー径  $\phi$  との比例の関係を示すと考えられること<sup>6),9)</sup>から、No.3, 5, 6 は、No.2, 4 から、No.7, 8, 9 は、No.10, 11 より推定した。No.21, 22 は、既往の研究<sup>2)</sup>から、No.21 の桁座の水平耐力を増加させ、ストッパーの降伏で最大荷重に至った解析値を用いた。

各試験体の最大荷重は、荷重と変位の関係の最大荷重とした。なお、鋼棒ストッパーが降伏した場合には、荷重は緩やかに増加していくため、かぶり部分の剥離が発

生した荷重が確認できる場合は併せて示した。

各試験体のストッパー周辺に配置されている鉄筋の諸元を表-2に示す。鉄筋は、図-3, 図-5に示すように、埋込み部表面から鋼棒ストッパーの埋込み長  $3\phi$  および  $2\phi$  に配置されている本数をそれぞれ記載した。

## 6. ストッパー埋込み部の水平耐力算定式の精度

### 6. 1 ストッパー埋込み部の水平破壊

図-8に表-1, 2に示す試験体のうち、破壊形態(i)と判定した試験体の最大荷重と、現行の水平耐力式である式(1), (2)により評価した水平耐力との関係を示す。図-9には、提案した水平耐力式である式(5)の破壊面の投影面積を用いて、式(3)により評価した水平耐力との関係を示す。なお、本論文では、参考文献<sup>5),6),7)</sup>からは  $l_{rd}, l_{rh}$  の判別が困難であったこと、参考文献<sup>2),4),8)</sup>の試験体では、式(4)による水平耐力が、式(3)の水平耐力を下回らなかったことから、式(3)を用いることとした。

図-8に示す現行の水平耐力式の計算値と最大荷重の比は、平均は0.93、変動係数は0.58であった。現行の水平耐力式は、RC床版等の面部材の設計押抜きせん断耐力に基づき定式化がされており、せん断引張鋼材比の水平耐力への影響が小さいこと<sup>10)</sup>や、数少ない試験体から定式化がなされているため、試験体の耐力を十分に評価できていないものと考えられる。

表-2 ストッパー周りの配筋の諸元

No	ストッパー周りの鉄筋1					ストッパー周りの鉄筋2					スパイラル鉄筋 <sup>*2</sup>		
	鉄筋径	降伏強度	$\theta_s$	本数		鉄筋径	降伏強度	$\theta_s$	本数		鉄筋径	降伏強度	スパイラル径
		(N/mm <sup>2</sup> )		(°)	3 $\phi$		2 $\phi$		(N/mm <sup>2</sup> )	(°)		3 $\phi$	
1	D19	345 <sup>*1</sup>	90	2	1	D22	345 <sup>*1</sup>	45	1	1	D16	345 <sup>*1</sup>	—
2	D16	345 <sup>*1</sup>	45	3	2								
3	D16	345 <sup>*1</sup>	45	3	2								
4	D16	345 <sup>*1</sup>	45	3	2								
5	D16	345 <sup>*1</sup>	45	3	2								
6	D16	345 <sup>*1</sup>	45	3	2								
7	無補強												
8	無補強												
9	D10	344.9	90	2	2								
10	D10	344.9	90	4	2								
11	D10	375.1	90	2	2								
12	無補強												
13	D10	375.1	90	2	2								
14	D10	375.1	90	4	2								
15	D16	387	45	3	2	D29	387	90	1	1	D13	—	200
16	D16	387	45	3	2	D29	387	90	1	1	D13	—	200
17	D19	364	45	3	2	D29	403	90	1	1	D13	356	200
18	D19	364	45	3	2	D19	364	90	2	2	D13	356	220
19	D29	385	90	1	1						D13	365	200
20	D19	385	90	2	2								
21	D13	366	45	3	2	D16	376	90	1	1			
22	D19	389	90	2	2								

※1 規格値、※2 スパイラル鉄筋の水平耐力への影響は明らかでないこと、スパイラル鉄筋を配置した試験体の水平耐力は、式(3)算定時のスパイラル鉄筋の効果の有無に関わらず、ストッパーの降伏荷重を上回っており、本論文の分析結果に影響しないことから、耐力算定上はスパイラル鉄筋を考慮していない。

図-8と比較して、提案した水平耐力式で評価した図-9では、計算値と最大荷重の比は、平均1.02、変動係数は0.16と、提案した水平耐力式は既往の実験を概ね精度よく評価できていることが確認できる。

このことから、ストッパー埋込み部の水平耐力は、既往の研究で示される鋼角ストッパーの水平耐力式の破壊面の投影面積および水平耐力に有効な補強鉄筋の配置範囲を修正することで概ね評価できる。

## 6.2 ストッパー埋込み部のかぶり部分の剥離

図-10に、表-1, 2に示す試験体のうち、破壊形態(ii)と判定した試験体の最大荷重またはかぶり部分の剥離が発生した時の荷重と、提案したかぶり部分の剥離時の水平耐力との関係を、 $\alpha = 0.4, 0.5, 0.6$ とした場合で示す。かぶり部分の破壊面に生じる水平力の、鋼棒ストッパー埋込み部に生じる水平力に占める割合 $\alpha$ は、ストッパー径や、縁端距離等との関係で変化することが推定される<sup>2)</sup>が、 $\alpha = 0.4$ では、かぶり部分の剥離耐力を過大に評価する恐れがある。本研究の範囲では、概ね $\alpha = 0.5$ でかぶり部分の剥離時の水平耐力を概ね評価できることが確認できる。また、かぶり部分の剥離は、鋼棒ストッパー降伏後に生じるが、鋼棒ストッパーの降伏後は緩やかに荷重が増加しつつ、かぶり部分が剥離するため、かぶり部分の剥離時の荷重が確認できない No.1, 10, 11 は計算値よりも大きな値を示していることは妥当であると考えられる。

図-11に、表-1, 2に示す試験体のうち、破壊形態(ii), (iii)と判定した試験体の最大荷重と、 $\alpha = 0.5$ としたかぶり部分の剥離の水平耐力との関係を示す。かぶり部分の剥離の水平耐力が最大荷重よりも大きい場合には、鋼棒ストッパー埋込み部は無損傷で、鋼棒ストッパーの降伏のみを生じる。

図-12に、ストッパーの降伏荷重とストッパー埋込み部の水平耐力の計算値との比と縁端距離の関係を示す。ストッパーの降伏荷重とストッパー埋込み部の水平耐力の計算値との比が概ね1.0を上回ると水平破壊を生じ、概ね1.0を下回るとかぶり部分の剥離に破壊形態が変化していることが確認できる。また、縁端距離の増加によってストッパーの降伏のみを生じ、かぶり部分の剥離を抑制できることが確認できる。

このことから、ストッパー埋込み部のかぶり部分の剥離の水平耐力は、かぶり部分で形成される破壊面の投影面積と、ストッパー埋込み部に生じる水平力のうち、かぶり部分に作用する水平力の割合を適切に評価することで概ね評価が可能である。

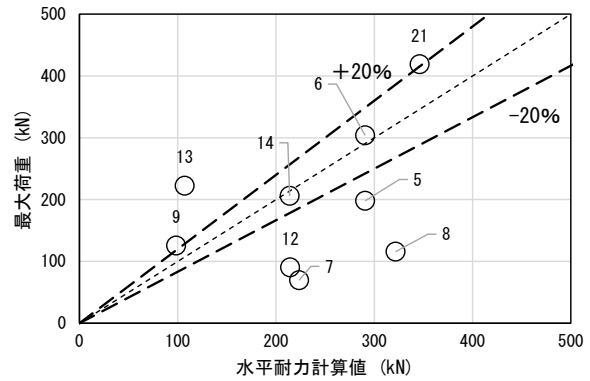


図-8 現行の式による破壊形態(i)の耐力評価

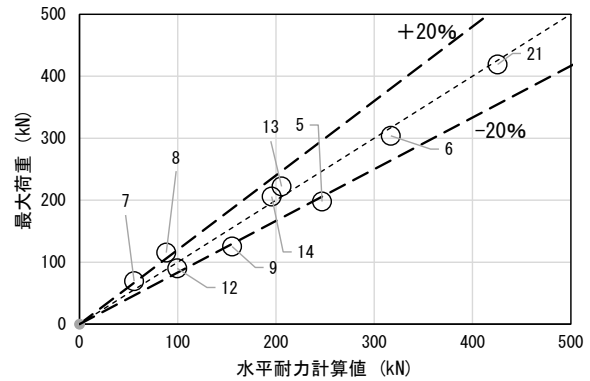


図-9 提案式による破壊形態(i)の耐力評価

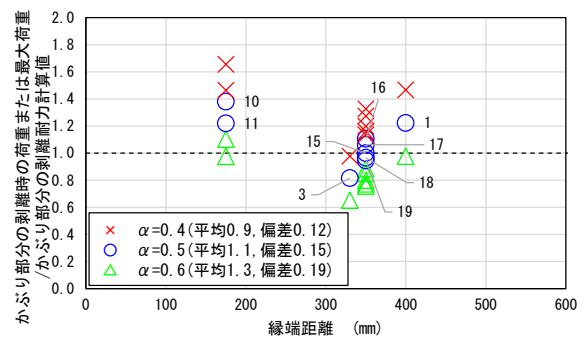


図-10 かぶり部分の剥離時または最大荷重

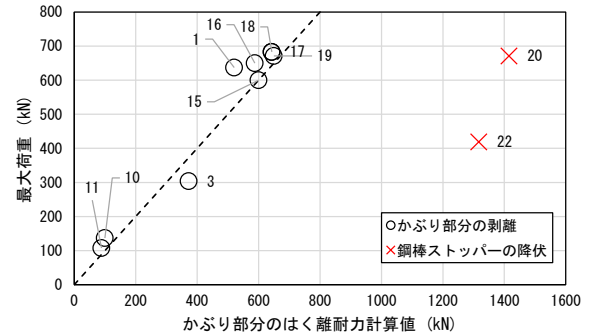
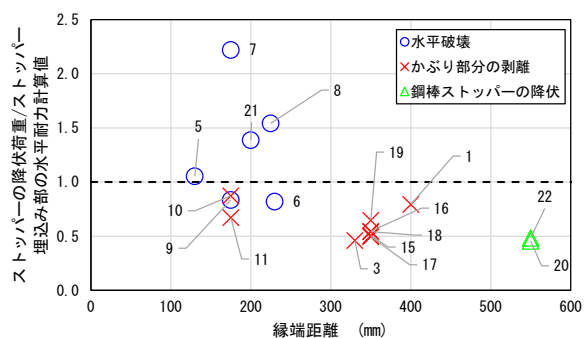


図-11 提案式による破壊形態(ii), (iii)の評価



図一 1 2 ストッパーの降伏荷重とストッパー埋込み部の水平耐力の比と破壊形態の関係

## 7. まとめ

本研究では、鋼角ストッパー埋込み部を対象として提案された水平耐力式を参考に、鋼棒ストッパーを対象とした水平耐力式を提案し、これまでに実施されてきた鋼棒ストッパー埋込み部の実験結果を用いて、提案した水平耐力式の精度について検討した。本研究により得られた知見を示す。

- (1) 鋼棒ストッパー埋込み部の破壊に対する水平耐力は、既往の研究で示される鋼角ストッパー埋込み部の水平耐力式の破壊面の投影面積および水平耐力に有効な補強鉄筋の配置範囲を修正することにより概ね評価できる。
- (2) 鋼棒ストッパー埋込み部のかぶり部分の剥離に対する剥離の水平耐力は、(1)と同様に破壊面の投影面積を修正するとともに、鋼棒ストッパー埋込み部に生じる水平力のうち、かぶり部分に作用する水平力の割合を適切に評価することで概ね評価できる。

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) (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，丸善，2004
- 2) 田畑勝幸，轟俊太郎，堂内悠吾，田所敏弥：縁端距離と補強鉄筋量が鋼棒ストッパー埋込み部の損傷メカニズムに及ぼす影響，構造工学論文集，Vol.1.68A，pp.702-710，2022
- 3) 轟俊太郎，田所敏弥，渡邊忠朋，岡本大：鉄道橋りょうにおける鋼角ストッパー埋込み部の鉄筋の配置に応じた破壊のメカニズム，土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造)，Vol.78，No.3，pp.197-209，2022
- 4) 建設省土木研究所：橋座部の水平耐力の評価に関する研究，土木研究所資料第 3497 号，1997
- 5) 鋼棒を橋けたのストッパーとして用いる場合の実験及び検討，土木学会年次学術講演概要集第 5 部，Vol.37，pp.449-450，1982
- 6) 石橋忠良，吉野伸一：鋼棒ストッパーの設計，構造物設計資料，No.73，pp.15-17，1983
- 7) 橋田敏之，石川里博：コンクリート桁用ストッパーの試験概要，構造物設計資料，No.59，pp.18-24，1979
- 8) 笠倉亮太，轟俊太郎，草野浩之，西恭彦：鋼棒ストッパーの埋込み長と桁座の配筋量がストッパーの破壊性状に与える影響，コンクリート年次工学論文集，vol.40，No.2，pp.1051-1056，2018
- 9) 安松敏雄，石田博，田中克則，村山八洲雄：変位制限構造用アンカーバーの耐震性能，土木学会論文集，No.633，I-49，pp.81-92，1999
- 10) 岡本圭太，轟俊太郎，笠倉亮太，田所敏弥：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，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.17，pp.315-320，2017.10