# 地震時の桁衝突に伴う橋梁下部工応答特性に関する解析的検討

Analytical Study on Response Characteristics of Bridge Substructure by girder collision

土木研究所寒地土木研究所	○正会員	寺澤貴裕	(Takahiro Terasawa)
土木研究所寒地土木研究所	正会員	白戸義孝	(Yoshitaka Shiroto)
土木研究所寒地土木研究所	正会員	西 弘明	(Hiroaki Nishi)
土木研究所寒地土木研究所	正会員	山澤文雄	(Fumio Yamasawa)

## 1. はじめに

既往地震において上部構造と橋台の接触による桁衝突 が上部構造の変位を拘束し、橋脚が大きく損傷しなかっ た事例(写真-1)等を踏まえ、その変位拘束効果の耐 震補強設計への考慮が期待される。その手法は、図-1 に示すように、上部構造と橋台パラペットの接触等の水 平抵抗を解析モデルに考慮し、橋梁全体系の動的解析に より橋脚および橋台等の耐震性能を照査するものである。

また、橋台パラペット部が損傷した被害を分析し、橋 台パラペット部の損傷形態やモデル化、抵抗特性に関す る研究も進んできている<sup>1)</sup>。

過年度の桁衝突に伴う下部構造応答特性の解析的検討 に関する研究<sup>2)</sup>においては、図-1に示すような非線形 モデルを採用している。このモデルは既往研究の地震分 析等を反映し、3 次元非線形 FEM 解析により妥当性が 確認されているが、橋台の押抜きせん断抵抗バネ剛性お よび緩衝材を設置した場合の衝突バネ剛性は、いずれも 静的載荷実験結果に基づく設定となっており、桁衝突に 伴う橋台破壊形態の1 つである橋台パラペットおよび ウィングの押抜きせん断破壊に着目すると、衝突挙動を 踏まえた動的載荷実験結果による設定が望ましいものと 考えられる。

そこで、これまでに衝突力による橋台パラペットおよ びウィングの押抜きせん断耐力を把握する要素実験とし て、橋台パラペットおよびウィングを想定した供試体に 重錘を衝突させる実験<sup>3)</sup>を実施し、衝突力による橋台 ウィングおよびパラペットの押抜きせん断抵抗バネ剛性 は既往解析モデル<sup>2)</sup>と比較して小さくなることを明ら かにしてきた。

本研究では、橋梁条件が下部工応答特性に与える影響



写真-1 桁衝突による橋台損傷事例

を把握することを目的に橋梁径間数を解析パラメータとして、桁衝突を考慮した橋梁全体系の地震時挙動に関する時刻歴非線形応答解析を行い、橋梁下部工の地震時応 答感度分析を実施した。

### 2. 解析方法

### 2.1 解析モデル概要

橋梁全体系の非線形解析モデルは、前述の図-1の既 往解析モデル<sup>2)</sup>の押抜きせん断抵抗バネ剛性( $E_s=7 \times 10^4$ kN/mm)を修正し、既往実験<sup>4)</sup>で得られた  $E_s=1,200$ kN/mmおよび $E_s=8,200$ kN/mmとした。橋台背面 土バネ剛性および桁衝突バネ剛性は既往解析<sup>2)</sup>の値と 同様にし、表-1に示す解析条件で、道路橋示方書 V 耐 震設計編<sup>5)</sup>のタイプII地震動を入力波とした桁衝突を 考慮した橋梁全体系の地震時挙動に関する時刻歴非線形 応答解析を行い、橋梁下部工の地震時応答感度分析を実 施した。

### 2.2 対象橋梁および解析ケース

解析対象橋梁は、昭和 55 年道示以前で設計されたコ ンクリート橋および鋼橋を想定した。下部構造は、竪壁 高さ10mの逆T式橋台(高さ2.2m、厚さ0.5mのパラ ペット)および躯体高10mの壁式橋脚とした。

桁衝突による橋台の破壊形態は橋台耐力(ウィング形状)によって異なるため、橋台形式は表-2に示す3ケ



表-1 解析条件

項目	条件	
設計方向	橋軸方向	
積分手法	Newmark $\beta$ 法( $\beta$ =0.25)	
解析時間間隔	1/10,000sec	
減衰考慮方法	Rayleigh 減衰	
固有周期計算手法	サブスペース法	
使用プログラム	TDAPIII	
基礎地盤条件	Ⅱ種地盤	
衝突位置	桁中心(Con 橋)	
	パラペット上端(鋼橋)	
入力地震波	タイプⅡ-Ⅱ-1(Ⅱ種地盤)	

表-2 橋台形式および橋台耐力

橋台I	橋台Ⅱ	橋台Ⅲ		
ウィング無し	パラレル	二辺固定		
		+パラレル		
10000	500 6000 0022 00001	500 6000 0022 00001		
道示による許容押抜きせん断応力度 τ= 0.85 N/mm <sup>2</sup>				
胸壁ー曲げ	堅壁-曲げ	胸壁-押抜き		
橋台耐力	橋台耐力	橋台耐力		
(Con 橋)1,360kN	(Con 橋)2,143kN	(Con 橋)9,350kN		
(鋼橋)742kN	(鋼橋)1,967kN	(鋼橋)9,350kN		
既往実験による押抜きせん断応力度 τ= 4.00 N/mm <sup>2</sup>				
胸壁ー曲げ	堅壁ー曲げ			
橋台耐力	橋台耐力	橋台耐力		
(Con 橋)1,360kN	(Con 橋)2,143kN	(Con 橋)9,410kN		
(鋼橋)742kN	(鋼橋)1,967kN	(鋼橋)8,639kN		

ースとした。ここで橋台耐力および破壊部位は、堅壁お よびパラペット各部位の曲げ、せん断、押抜きせん断耐 力を比較し最小となるものとした。なお、押抜きせん断 耐力の算出には道路橋示方書<sup>6)</sup>による許容押抜きせん 断応力度(以下、道示応力度)(τ=0.85N/mm<sup>2</sup>)および 既往実験<sup>4)</sup>で得られた衝撃力による押抜きせん断応力度 (以下、実験応力度)(τ=4.00N/mm<sup>2</sup>)の2種類を用い た。実験応力度を用いた場合、橋台Ⅲの二辺固定+パラ レルにおいて橋台耐力および破壊部位が変化している。

表-3 に解析における橋梁条件を示す。橋梁径間数の 設定においては橋長を変化させず、コンクリート橋にお いては径間数を 2~5 径間、鋼橋においては 2 および 3 径間とした。なお、支承条件は図-2 のとおりである。

### 3. 解析結果

### 3.1 橋台パラペットの押抜きせん断耐力の影響

2 径間のコンクリート橋、鋼橋の各支間長のケースで

表-3 橋梁条件





図-2 支承条件

押抜きせん断耐力の影響を確認した。

図-3 に橋脚の最大応答変位(以下、橋脚変位)、橋脚の許容変位(以下、許容変位)および橋台パラペット 天端の最大応答変位(以下、天端変位)を示す。(a)図 より道示応力度を用いた場合は、すべての橋台ケースに おいて、コンクリート橋では支間長が 30m 以上、鋼橋 では支間長が 40m 以上のケースで橋脚変位は許容変位 を超過しており、橋脚は損傷している。一方、(b)図よ り実験応力度を用いた場合は、橋台 I のウィング無しの ケースでは橋脚変位および天端変位は道示応力度を用い た場合と同じであるが、橋台 II のパラレルおよび橋台 III の二辺固定+パラレルのケースにおいては、コンクリー ト橋、鋼橋ともに橋脚変位および天端変位は道示応力度 を用いた場合より小さく、橋脚の損傷を回避できたケー スもあった。コンクリート橋の支間長が 50m のケース では橋脚変位および天端変位の変化は小さかった。

図-4 に橋台パラペットの押抜きせん断降伏判定(応 答最大変形量 $\delta_p$ /降伏変形量 $\delta_{py} > 1$ で降伏、以下、せ ん断判定)および橋台堅壁基部の曲げ降伏判定(応答最 大曲率 $\phi_{max}$ /降伏曲率 $\phi_y > 1$ で降伏、以下、曲げ判定) を示す。(a)図より道示応力度を用いた場合は、すべて のケースで橋台パラペットは降伏またはそれに近い結果 となった。一方、(b)図より実験応力度を用いた場合は、 橋台 I のウィング無しのケースでは橋台パラペットは降





図-3 橋脚およびパラペット天端の最大応答変位 (押抜きせん断耐力の影響)

伏に至っているが、橋台Ⅱのパラレルおよび橋台Ⅲの二 辺固定+パラレルのケースにおいては橋台パラペット耐 力が大きいため、コンクリート橋の支間 50m のケース 以外では降伏に至っていない。また、橋台の最小耐力で ある橋台堅壁基部の曲げ破壊に着目しても、コンクリー ト橋の支間 50m のケース以外では降伏に至っていない。 以上のことから、押抜きせん断耐力の違いが橋梁下部

工の各応答値に与える影響は大きいといえる。

## 3.2 橋台パラペットの押抜きせん断剛性の影響

2 径間のコンクリート橋(支間長 30m、遊間 70mm) および鋼橋(支間長 50m、遊間 100mm)を対象として、 実験応力度を用いたケースに対して橋台パラペットの押 抜きせん断抵抗バネ剛性(E<sub>s</sub>)を変化させ、押抜きせん 断剛性の影響を確認した。

図-5 に橋脚変位、許容変位および天端変位を示す。 橋脚変位および天端変位は僅かながらE<sub>s</sub>=1,200kN/mmの 方が大きいが解析結果の傾向に大差はみられない。

図-6 に橋台パラペットのせん断判定および橋台堅壁 基部の曲げ判定を示す。橋台パラペットの押抜きせん断 および橋台堅壁基部の曲げともに E<sub>s</sub>=8,200kN/mmの方が 判定値は大きいが解析結果の傾向に大差はみられない。

以上のことから、押抜きせん断剛性の違いが橋梁下部 工の各応答値に与える影響は小さいといえる。

コンクリート橋、鋼橋ともにE<sub>s</sub>=1,200kN/mmの方が橋 脚変位および天端変位が大きいため安全側の評価となる (押抜きせん断耐力の影響)

## ことから、以降の解析は Es=1,200kN/mm を用いる。

### 3.3 橋梁径間数の影響

τ=4.00N/mm<sup>2</sup>、E<sub>s</sub>=1,200kN/mm の値を用いて解析を実施したケースのうち、橋脚が損傷に至るコンクリート橋
(2 径間、支間 50m、遊間 40mm)と鋼橋(2 径間、支間 50m、遊間 100mm)に対して、橋梁径間数の影響を確認した。

図-7 に固定橋脚の橋脚変位、許容変位および天端変 位を、図-8 に橋台パラペットのせん断判定および橋台 堅壁基部の曲げ判定を示す。

### (1)コンクリート橋

橋台 I のウィング無しの場合、図-7 よりいずれの橋 梁径間数ケースにおいても橋脚変位は許容変位を超過し ており、橋脚は損傷している。しかしながら、橋梁径間 数の増加による橋脚変位の変化はごく僅かであるが、橋 梁径間数の増加に伴い許容変位が大きくなるため、橋脚 損傷度は小さくなると考えられる。また、図-8 より橋 台パラペット押抜きせん断破壊が生じている。

橋台Ⅱのパラレルの場合、橋台Ⅰのウィング無しの場 合と同様であるが、図-7より5径間のケースでは橋脚 の損傷を回避している。また、図-8よりいずれの橋梁 径間数ケースにおいても橋台パラペット押抜きせん断破 壊は回避できているが橋台竪壁基部の曲げ破壊が生じて いる。

橋台Ⅲの二辺固定+パラレルの場合、これまでの橋台

## 平成29年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第74号



ケースとは異なり、図-7 より橋梁径間数の増加に伴い 橋脚変位が大きくなるが、5 径間のケースでは橋脚変位 は急激に減少し橋脚の損傷を回避している。また、図-8 より 5 径間のケースでは橋台パラペット押抜きせん断 破壊や橋台竪壁曲げ破壊が回避できている。

以上のことから、橋台パラペットや橋台堅壁が破壊す ることなく上部工の変位を効果的に抑制したことで、橋 脚の損傷も回避したことが分かる。

#### (2)鋼橋

橋台 I のウィング無しの場合、図-7 よりいずれの橋 梁径間数のケースにおいても橋脚変位は許容変位を超過 しており橋脚は損傷している。また、図-8 より橋台パ ラペットの押抜きせん断破壊が生じている。

橋台Ⅱのパラレルおよび橋台Ⅲの二辺固定+パラレル の場合、図-7 よりコンクリート橋の場合とは異なり、 3 径間の場合には橋脚変位は許容変位を下回っており、 橋脚の損傷は回避している。また、図-8 より橋台パラ ペット押抜きせん断破壊や橋台竪壁曲げ破壊が回避でき ている。これは、鋼橋の上部工質量がコンクリート橋よ り軽いため下部工に与える衝突力が小さいためと推察さ れる。

### 4. まとめ

本研究の範囲で得られた知見を以下に示す。

(1) パラペットの押抜きせん断耐力の違いが橋梁下部 工の各応答値に与える影響は大きい。







図-8 橋台パラペットおよび堅壁基部の降伏判定 (橋梁径間数の影響)

- (2) パラペットの押抜きせん断剛性の違いが橋梁下部 工の各応答値に与える影響は小さい。
- (3) 橋台耐力や橋梁径間数の違いにより下部工応答や 破壊部位も異なる。また、同一橋長であっても橋 台耐力が大きいほど、また橋梁径間数が大きいほ ど、橋脚の損傷や橋台パラペット押抜きせん断破 壊や竪壁曲げ破壊は回避できる。

### 参考文献

- たとえば、田崎賢治、幸左賢二、新井伸博、阿部弘典:桁 衝突解析における橋台部の抵抗特性とモデル化に関する一 考察、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.59、 pp.323-324、2004.9
- 2)西城能利雄、岡田慎哉、西 弘明:地震時の桁衝突に伴う 橋梁下部工応答特性の解析的検討、土木学会年次学術講演 会講演概要集、Vol.70、pp.225-226、2015.9
- 3) 西城能利雄、佐藤孝司、西 弘明:桁衝突に伴う橋台抵抗 特性の実験及び解析的検討、コンクリート工学年次論文集、 Vol.38、 No.2、2016
- 4)山澤文雄、西 弘明、白戸義孝、寺澤貴裕:地震時の桁衝 突に伴う橋台抵抗特性の検討、第20回性能に基づく橋梁 等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp.495-500、2017.7
- 5)日本道路協会 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、 2013.3
- 6)日本道路協会 道路橋示方書・同解説 IV下部工編、 2013.3