

桁衝突に伴う橋台抵抗特性に関する実験的検討

Experimental investigation on a characteristics of bridge abutment resistance 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 佐藤孝司 (Koji Sato)
 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¹⁾。さらに、桁衝突において緩衝材による地震慣性力の低減効果に関する研究²⁾がなされており、桁遊間部に緩衝材を間詰することで橋台や橋脚応答が低減することが明らかとなっている。

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³⁾においても、図-1に示した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。しかし、橋台の破壊形態および耐荷力など

の抵抗評価に課題があると言える。ここで、桁衝突に伴う橋台破壊形態の1つであるパラペット・ウイングの押し抜きせん断破壊に着目することとした。

桁衝突の解析モデルにおいて、橋台の押し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いるが、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、衝突力によるパラペットおよびウイングの押し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イングを想定した供試体(写真-2)による衝突実験⁴⁾を実施し、衝突力による橋台の押し抜きせん断抵抗バネ剛性は既往解析モデル³⁾と比較して小さくなることを明らかにしてきた。

本実験は、上部工規模(支間長)がパラペットおよびウイングの押し抜きせん断耐力に与える影響を把握することを目的とし、既往実験⁴⁾と比較して重錘質量を大きくした場合について衝突実験を実施した。



写真-1 桁衝突による橋台損傷事例



写真-2 衝突実験供試体

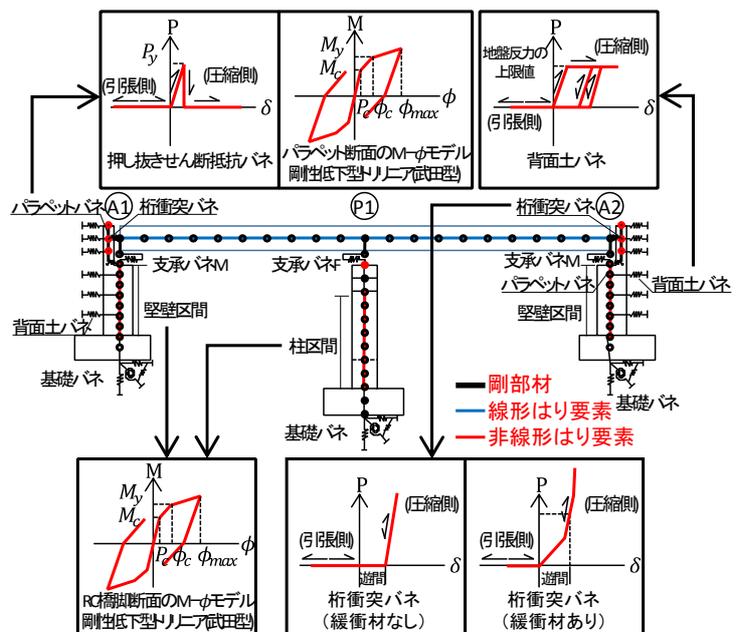


図-1 解析モデル

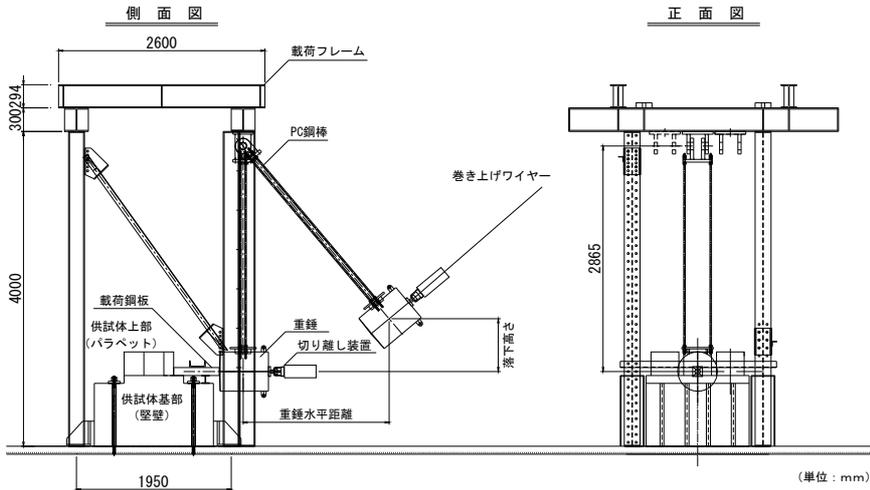


図-2 実験装置概要



写真-3 実験状況

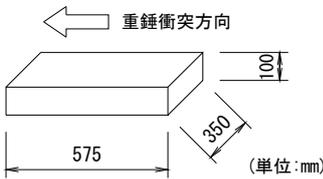


図-3 載荷鋼板形状

表-1 実験ケース

ケース名	ウイング形状	ウイング長 (mm)	押抜きせん断耐力 ^{※1} (kN)	重錘水平距離 (m)	衝突速度 (m/sec)
NW	無し	—	41	0.05~0.80	0.1~1.5
WL250	有り	250	123	0.15~1.50	0.3~2.9
WL500		500	206		

※1 道路橋示方書⁵⁾においてコンクリートの圧縮強度より許容押抜きせん断応力度 ($\tau=0.94N/mm^2$) で算出。

供試体構造図

供試体配筋図

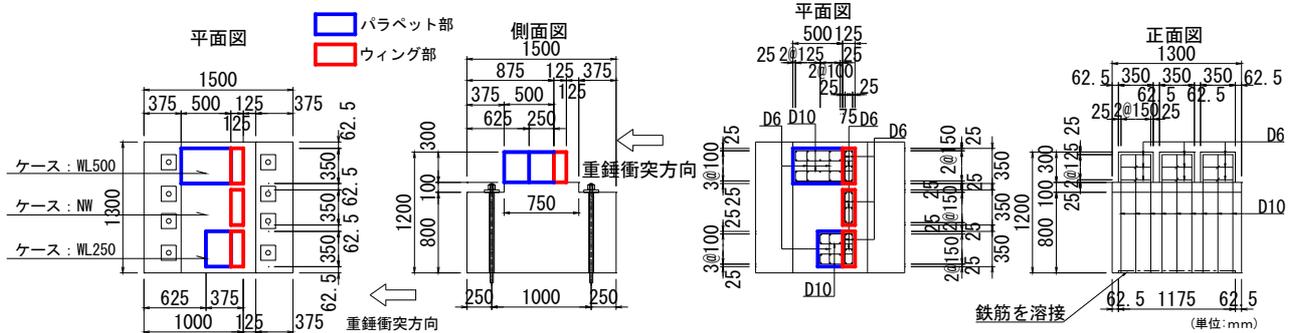


図-4 供試体形状および配筋図

2. 実験概要

2.1 実験方法

図-2 に実験装置の概要を、併せて写真-3 に実験状況を示す。実験は、図に示すように載荷フレームに吊り下げられた重錘（質量 1,000kg）を所定の高さまで引き上げ、振り子運動によって供試体に衝突させることにより行った。衝撃力は落下高さを段階的に高く（水平距離を段階的に大きく）して累積荷重として与えた。また、堅壁を想定した供試体基部（これ以降「堅壁」と略す）とパラペット（またはウイング）を想定した供試体上部（これ以降「パラペット」と略す）の境界において、押し抜きせん断破壊が発生するように図-3 に示す載荷鋼板（B350 mm×W575 mm×H100 mm、SS400）を配置し、重錘による衝撃力が載荷鋼板を介してパラペット基部に

導入される構造とした。

2.2 供試体および実験ケース

図-4 に供試体形状および配筋図を、表-1 に実験ケースの一覧を示す。供試体の設計にあたっては、昭和55年道示以前に設計された逆T式橋台の配筋を想定し、実験装置の寸法を考慮して 1/4 スケールに縮小することで供試体の諸元を設定した。また、軸方向鉄筋比および帯鉄筋比が実物大とできるだけ等価となるように鉄筋径を決定している。堅壁寸法は幅 1300 mm、奥行き 1500 mm、高さ 900 mm、パラペットの寸法は幅 350 mm、奥行き 125~625 mm、高さ 300 mm とした。パラペットの主鉄筋および帯鉄筋（配力筋）にはそれぞれ D10、D6 を用いた。実験時のコンクリートの圧縮強度は 26.6N/mm²、静弾性係数は 2.17×10⁴N/mm² であった。

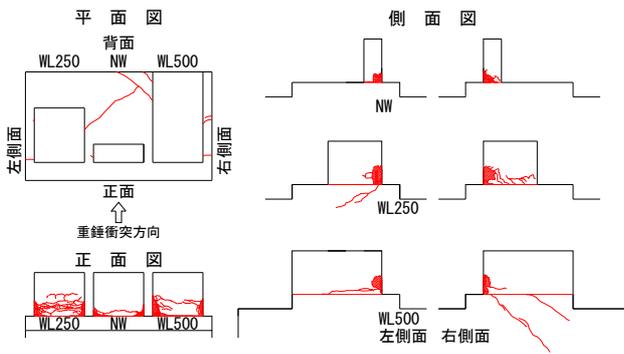


図-5 実験終了時の損傷状況

本実験ではウィング有無、ウィング長の違いによる押し抜きせん断耐力を把握するため、ウィング長（奥行き）をパラメータとした3ケースを基本とした。重錘水平距離（これ以降、「H」と略す）は図-2に示すように重錘を引き上げた際の水平距離で、前述のとおり水平距離を段階的に大きくして累積荷重として衝撃力を与えたが、実験ケース WL250 の H=0.80m および H=1.00m においては、それぞれ2回ずつ重錘を落下させた。また、衝突速度は重錘落下高さから算出した。

本実験で用いた重錘質量 1,000kg は支間長 16m 程度、既往実験⁴⁾の重錘質量 338kg は支間長 7m 程度のコンクリート橋（幅員 10m）上部工にそれぞれ相当する。

2.3 計測方法

本実験では、写真-3に示すように重錘に設置した加速度計により加速度を測定した。また、各パラペットの衝突面から見て背面側のパラペット上端および下端に設置したレーザー変位計により、変位量を測定した。

3. 実験結果

3.1 衝撃力による損傷状況

図-5に各実験ケースにおける実験終了時の供試体損傷状況を示す。

実験ケース NW においては、H=0.50m 位置からの重錘落下によってまずパラペット・堅壁境界にクラックが発生した。その後、H=0.60m、H=0.70m 位置の重錘落下においてそのクラックが進展し、H=0.80m 位置の重錘落下において、パラペット前面から約 35mm の位置から堅壁上面にクラックが発生した。

実験ケース WL250 においては、実験ケース NW の場合とは異なり H=0.80m 位置の重錘落下において、パラペット先端から 20mm の位置を始点として堅壁側面にクラックが発生し、その後の H=1.00m 位置の重錘落下において新たにパラペット・堅壁境界にクラックの発生と、堅壁側面クラックの進展が見られた。

実験ケース WL500 においては、H=1.20m 位置の重錘落下においてパラペット先端から 50mm の位置を始点として堅壁側面にクラックが発生した。その後、H=1.50m 位置の重錘落下において実験ケース WL250 の場合と同様に、新たにパラペット・堅壁境界にクラックの発生と、パラペット先端から 300mm の位置を始点として堅壁側

表-2 初期剛性、押し抜きせん断耐力

ケース名	断面寸法 (mm)	抵抗面積 (mm ²)	初期剛性 (×10 ³ kN/mm)	押し抜きせん断耐力 (kN)
NW	350×125	43,750	1.2~2.1	787~836
			1.0	(192)
WL250	350×375	131,250	1.4~2.8	1,530~1,862
			3.0	1,917
WL500	350×625	218,750	2.7~8.2	1,758~2,187
			5.9	1,742

※上段：重錘質量 1,000kg、下段：重錘質量 338kg⁴⁾

※実験ケース NW 下段については、参考値。

面に2本目のクラックが発生した。

3.2 衝撃力とパラペット下端変位の関係

図-6に衝撃力と重錘衝突におけるパラペット下端最大変位の関係を示す。ここで、衝撃力は重錘に設置した加速度計により計測した加速度と重錘質量の積である。なお図中には既往実験⁴⁾における結果も併せて示したが、実験ケース NW においては、加速度計の出力超過が見られていたため、その計測値については参考値とし白抜きで表示した。

実験ケース NW においてはパラペット・堅壁境界の境界にクラックが発生した H=0.50m 位置の重錘落下までは衝撃力の増加に伴いパラペット下端変位は線形的に増加する。その後、H=0.60m 位置の重錘落下では衝撃力は H=0.50m とほぼ同等であったが、パラペット下端変位はそれ以前と比較して大きくなった。その後は衝撃力の増加に伴いパラペット下端変位も増加した。

実験ケース WL250 においても実験ケース NW と同様に堅壁にクラックが発生した H=0.80m 位置の重錘落下以前は衝撃力とパラペット変位の関係は線形関係にあるといえる。しかしながら、クラックが発生した重錘落下位置においては、衝撃力とパラペット下端変位の関係はバラツキが大きい。同一水平距離からの重錘落下を繰り返した H=0.80m および H=1.00m の1回目、2回目の結果を比較しても衝撃力とパラペット下端変位の関係には明確な傾向は見られなかった。これは、実験ケース NW と比較してパラペット抵抗面積が大きいため損傷面の摩擦や未破壊部および、鉄筋による抵抗による影響があると考えられる。

実験ケース WL500 においてもクラック発生以前は前述の2ケースと同様に、衝撃力とパラペット変位の関係は線形関係にあるといえる。しかしながら実験ケース WL250 で見られたようなクラックが発生した重錘落下位置近傍でのバラツキはあまり見られず、その後は再び衝撃力の増加に伴いパラペット下端変位も増加した。

3.3 初期剛性および押し抜きせん断応力度

表-2に実験結果から求めた各実験ケースにおける初期剛性 (= 衝撃力/パラペット下端変位) および押し抜きせん断耐力 (= 衝撃力) を示す。ここで本実験における衝撃力はクラックが発生した前後での重錘落下位置におけるそれぞれの衝撃力とした。

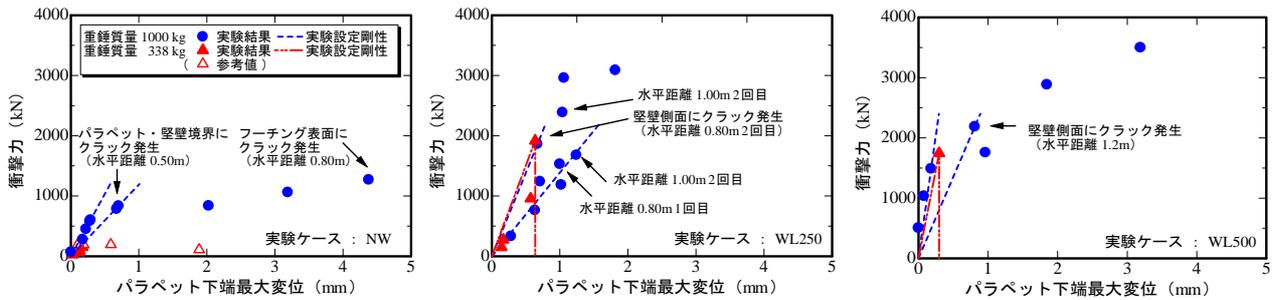


図-6 衝撃力とパラペット下端最大変位

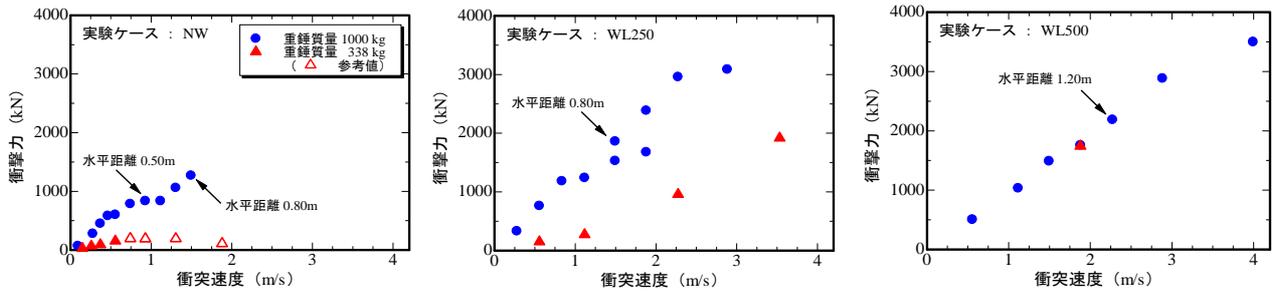


図-7 衝撃力と衝突速度

初期剛性については本実験条件においては重錘質量の影響は小さく、既往の実験と比較して重錘質量は約3倍であるが、いずれの実験ケースにおいても初期剛性は同程度であった。また、いずれの実験ケースにおいても初期剛性は既往の解析モデル³⁾($E=7 \times 10^4 \text{ kN/mm}$)と比較して小さくなった。

押し抜きせん断耐力については本実験条件においては重錘質量の影響は小さく、既往の実験⁴⁾と同程度となった。また、いずれも道示⁵⁾の許容押し抜きせん断応力度から算出した耐力と比較して大きいといえる。これは静的載荷と衝突載荷という実験載荷条件の相違が影響していると考えられる。

3.4 衝突速度と衝撃力との関係

図-7に各実験ケースにおける衝突速度と衝撃力の関係を示す。いずれの実験ケースにおいても衝突速度が速くなるほど衝撃力が大きくなっており、本実験の範囲内においては、衝突速度と衝撃力の関係は概ね直線近似が可能である。しかしながら、実験ケースNWにおいてのみパラペット・堅壁境界にクラックが発生した $H=0.50\text{m}$ 位置の重錘落下後は両者の関係は直線関係にあるものの、それまでに比べて衝撃力が若干ではあるが小さくなる傾向にある。これは、重錘衝突時のパラペット損傷により衝撃力が吸収されるためだと考えられ、抵抗面積が小さい実験ケースNWほどその傾向が顕著に現れたが、実験ケースWL250やWL500においては、前述のようにクラック発生後も損傷面の摩擦や未破壊部および、鉄筋による抵抗による影響大きいため、実験ケースNWのような衝撃力が小さくなる傾向は小さかったと考えられる。また、前述のように押し抜きせん断耐力に与える重錘質量の影響が小さいことから、押し抜きせん断耐力に与える衝突速度の影響も小さいと考えられる。

4.まとめ

本研究では衝撃力によるパラペットおよびウィングの押し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よる衝突実験を実施した。本実験の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1) 衝撃力によるパラペットの初期剛性に与える重錘質量の影響は小さく、また既往解析モデル³⁾と比較して小さくなる。
- (2) 衝撃力による押し抜きせん断耐力に与える重錘質量の影響は小さく、また道示⁵⁾の許容押し抜きせん断応力度から算出した耐力と比較して大きくなる。
- (3) 衝突速度と衝撃力の関係は線形関係にあるが、パラペット抵抗面積が小さい場合、押し抜きせん断クラック発生後の衝撃力は小さくなる。
- (4) 衝撃力による押し抜きせん断耐力に与える衝突速度の影響は小さい。

参考文献

- 1) 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) 田崎賢治、幸左賢二、阿部弘典、新井伸博：橋の桁端部に間詰め材を充填する地震慣性力の低減効果、コンクリート工学年次論文集、Vol.26、No.2、pp.1171-1176、2004.7
- 3) 西城能利雄、岡田慎哉、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
- 4) 西城能利雄、佐藤孝司、西弘明、具志一也、田崎賢治：桁衝突に伴う橋台抵抗特性の実験的検討、土木学会北海道支部論文報告集、第72号
- 5) 日本道路協会 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編