橋台の抵抗特性の把握を目的とした静的水平載荷実験の事前解析

九州大学　学生会員　○石上翔一郎　九州大学大学院　学生会員　吉田佳太郎
九州大学大学院　正会員　梶田幸秀　九州大学大学院　フェロー　大塚久哲

1. はじめに

橋梁の耐震補強は橋脚の補強が主流ではあるが，地震時に上部構造に生じる水平変位を橋台等により拘束することで，橋脚の損傷の低減を図る変位拘束工法も提案されている[1)]．この工法を実施するためには，桁-橋台衝突時の橋台の損傷形態や抵抗特性を把握する事が必要となる．そこで著者らは，橋台の損傷形態や抵抗特性の把握を目的とした，実橋梁 1/6 寸法橋台供試体の水平載荷実験を予定している．そのため，橋台供試体の損傷形態や抵抗特性の予測を目的に，橋台供試体に対する荷重漸増載荷解析を実施した．

2. 荷重漸増載荷解析の概要

2.1 解析モデルおよび材料特性

本研究では、汎用動的有限要素法プログラム LS-DYNA を用いて荷重漸増載荷解析を実施した．**図-1** に橋台供試体の解析モデルとその寸法を示す．本研究では，供試体構造や荷重条件が左右対称のため，1/2 対称モデルとして解析モデルを作成している．境界条件として，基礎底面，橋台模型背面の各節点の全自由度を拘束し，その他の節点の自由度はすべて自由である．**表-1** に材料の物性値を、**図-2** にコンクリートの構成則を示す．コンクリートはソリッド要素を用いてモデル化している．構成則は，圧縮側は最大圧縮応力に達した後は一定値とし，引張側は最大圧縮応力の 0.1 倍を最大引張応力とし，その後は線形的に応力が低下していく軟化挙動を持つものとした．なお，橋台供試体のコンクリートの設計基準強度は σ_{ck}=24（N/mm^2）である．鉄筋はトラス要素を用いてモデル化した．構成則はバイリニア型のモデルとし，降伏後の剛性は初期剛性の 1/100 倍とした．なお，橋台供試体の使用鉄筋は SD295 と SD345 である．背面土はソリッド要素を用いてモデル化した．構成則は,圧縮側は最大圧縮応力に達した後は一定値とし，引張側は全く抵抗しないモデルとした．背面土の N 値は 5 と仮定し，文献 2)，3)を参考に材料の物性値を決定している．

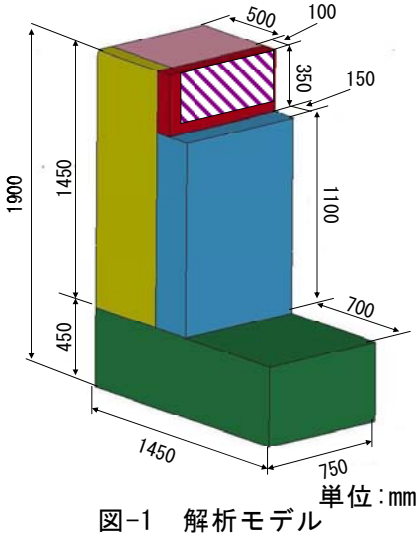


図-1　解析モデル

表-1　材料の物性値

	質量密度	ヤング率	ポアソン比	圧縮強度	引張強度
単位	g/cm^3	MPa	-	MPa	
コンクリート	2.35	2.5×10^4	0.2	24	2.4
鉄筋(SD295)	7.85	2.0×10^5	0.3	295（降伏応力）	
鉄筋(SD345)	7.85	2.0×10^5	0.3	345（降伏応力）	
背面土	1.80	14	0.45	0.0625	0

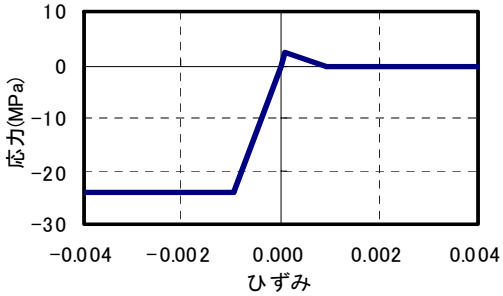


図-2　コンクリートの構成則

2.2 解析条件

表-2 に本研究における解析ケースを示す．解析は準静的（動的解析）で実施し，100(kN/sec)の載荷速度で荷重を増加させた．なお，背面土がないケースでは引張鉄筋降伏を，背面土があるケースではコンクリートの圧縮終局を解析上の終局と仮定した.荷重載荷位置は,実橋の桁寸法を参考に，**図-1** 斜線部の節点に集中荷重として与えた．解析時間増分は Courant 条件に満足する自動制御とし，解析結果は載荷荷重 0.5kN ごとに出力することとした．

表-2　解析ケース

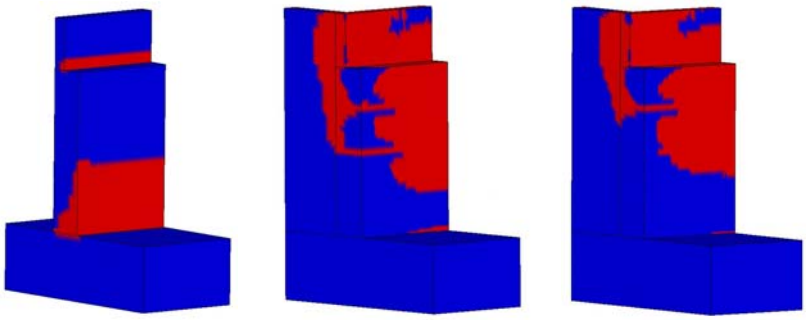
	ウイング	背面土
モデル1	なし	なし
モデル2	あり	なし
モデル3	あり	あり

3. 荷重漸増載荷解析結果

3.1 橋台の損傷形態について

図-3 に各ケースにおける引張側鉄筋降伏時の，最大主ひずみコンター図を示す．図中赤色部は，コンクリ

ートの最大主ひずみが最大引張応力時のひずみ（96μ）を超えた要素である．これより，ウイングがないケースでは，橋台を一本柱とみなせるように変形し，パラペット基部や竪壁基部といった断面寸法変化部から損傷が生じ，ウイングがあるケースでは，パラペットが 3 辺固定 1 辺自由板のように変形し，パラペット部に損傷が集中することがわかる．また，背面土の有無による大きな違いは見られなかった．



モデル 1　　モデル 2　　モデル 3

図-3　最大主ひずみコンター図

表-3　損傷発生荷重

		引張側コンクリート		圧縮側コンクリート		引張側鉄筋降伏
		最大引張応力時ひずみ (+96μ)	引張終局 (+960μ)	最大圧縮応力時ひずみ (−960μ)	圧縮終局 (−3500μ)	
モデル1	パラペット基部	31	55.5	−	−	−
	竪壁基部	23.5	53	−	−	56.5
モデル2	パラペット基部	46	90	204	−	221
	竪壁基部	183	−	−	−	−
モデル3	パラペット基部	49.5	97.5	230.5	318	255.5
	竪壁基部	230.5	−	−	−	−

単位：kN

次に，**表-3** に各ケースにおける損傷の発生荷重を，**表-4** にモデル 1，モデル 2 の条件における，パラペット基部，竪壁基部の各断面における耐力計算結果を示す．これらより，ウイングがないケースでは，パラペット基部と竪壁基部で共に，引張ひび割れ発生荷重（引張側コンクリートが最大引張応力時ひずみに達した荷重）はひび割れ曲げ耐力と近い結果となったが，引張鉄筋降伏荷重は，降伏曲げ耐力とは大きく異なる結果となった．またウイングがあるケースでは，パラペット基部と竪壁基部で共に，損傷発生荷重は，耐力計算結果と大きく異なる結果となった．

表-4　耐力計算結果

	項目	モデル1	モデル2
パラペット基部	ひびわれ曲げ耐力	31.6	567.4
	降伏曲げ耐力	62.1	912.1
	終局曲げ耐力	82.6	1141.1
竪壁基部	ひびわれ曲げ耐力	29.5	141.0
	降伏曲げ耐力	26.4	156.4
	終局曲げ耐力	32.3	226.9

単位：kN

3.2 橋台の抵抗特性について

図-4 に橋台の抵抗特性として，各ケースの載荷荷重とパラペット中央天端変位の関係を示す．これより，ウイングがあることで橋台の剛性，耐力が大きくなる事が，背面土があることで橋台の剛性，耐力が小幅ではあるが大きくなる事がわかる．また，**表-3** と**図-4** を比較することで，損傷発生に従い橋台の剛性が徐々に低下していく事がわかる．特に引張側コンクリートの終局が橋台の大きな剛性低下につながることが確認された．

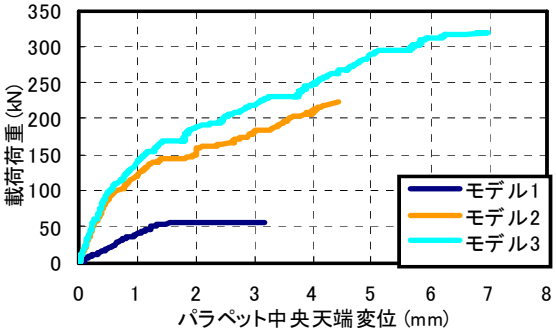


図-4　橋台の抵抗特性

4. まとめ

数値解析結果から，ウイングの有無により橋台の損傷形態が大きく異なることが確認されたが，背面土の有無による橋台の損傷形態の大きな違いは見られなかった．また，橋台の抵抗特性はウイングや背面土が存在することで向上すること確認され，特にウイングの影響が大きいこと，構台の剛性は損傷発生にしたがって徐々に低下していき，特に引張側コンクリートの終局が大きな剛性低下につながっていることがわかった．

謝辞：本研究における橋台供試体の設計は，大日本コンサルタント株式会社の御協力のもと実施しました．ここに記し，謝意を表します．

参考文献

1）財団法人海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集，2005.4.
2）社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ【下部構造編】，2002.3.
3）小林竜太，岸徳光：桁端衝突を受ける橋台の耐衝撃挙動に関する数値シミュレーション，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.2，pp.787-792，2009.