

1/6 スケール橋台模型における静的水平載荷実験のシミュレーション解析

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へ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が提案されている。この変位拘束工法を実施するためには、橋台の抵抗特性や桁橋台衝突における上部構造端部や橋台部の損傷状態を把握する必要がある。本研究では、過去実施された実橋梁 1/6 寸法橋台供試体の静的水平載荷実験のシミュレーション解析の精度向上とひび割れ発生状況を確認するため、有限要素法プログラム FINAL を用いてシミュレーション解析を実施した。

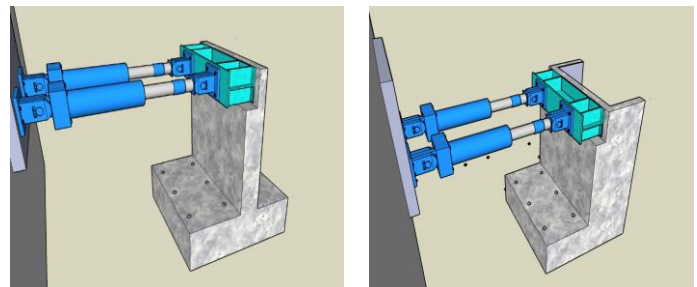
2. シミュレーション解析条件

まず、静的水平載荷実験に関する簡単な概要を説明する。図-1 に示すとおり、反力壁に取り付けた耐圧盤に 500kN 油圧ジャッキ 2 本を取り付け、先端部に載荷板を設置し、水平載荷実験を実施した。図-2 に供試体の解析モデルを示す。コンクリートはソリッド要素、鉄筋は棒要素でモデル化している。本解析では、鉄筋はコンクリートと完全付着（節点共有）とした。荷重は実験に用いた載荷板の断面積に相当するコンクリート要素に等分布に力を与えており、荷重制御での解析となっている。

コンクリートはソリッド要素でモデル化し、コンクリートの構成則に対して、圧縮側については、本研究で用いたコンクリートの圧縮応力とひずみ曲線の関係は図-3 に示す修正 Ahmad モデル (Model=2) を用いた。このモデルは、Ahmad が提案した主圧縮方向の応力算定式を長沼らが改良したモデルである。このモデルの特徴として、一軸圧縮強度や側圧レベルが異なる応力-ひずみ曲線を良好に再現することができる。圧縮強度時のひずみ ε_p は圧縮強度より計算される。

引張側については、道路橋示方書にはコンクリートの引張側に関する具体的な規定がない。コンクリートの引張応力-ひずみ関係のモデル化には、最大強度後の軟化域の挙動について二つの考え方がある。一つはマイクロクラックの成長に伴うメカニズムであり、もう一つはひび割れ間コンクリートの引張応力負担におけるメカニズムである。一般に後者の方はテンションスティフニング特性と呼ばれ、今回はテンションスティフニング特性を考慮したモデルを用いる。コンクリートのテンションスティフニング効果に対して、図-4 に示すように、出雲らのモデルを用いて、本研究の解析では、出雲らのモデルの係数 c を 1 とした。

鉄筋はトラス要素を用いてモデル化を行った。鉄筋の構成則を図-5 に示す。材料構成則は Von Mises の降伏条件式を満たすバイリニア型モデルとし、降伏後の剛性は初期剛性の 0.01 倍とした。



(a)ウイング無し (b)ウイング有り

図-1 実験の実施状況

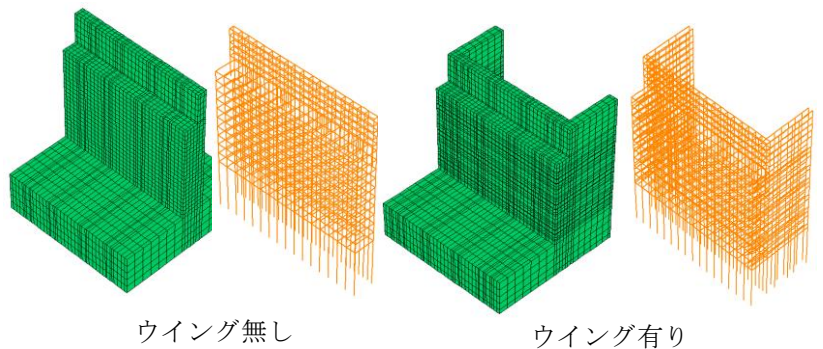


図-2 供試体の解析モデル

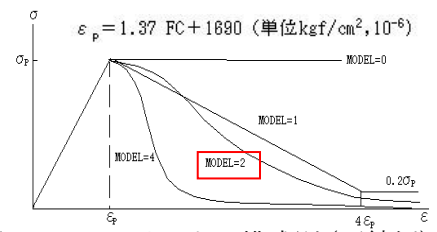


図-3 コンクリートの構成則（圧縮側）

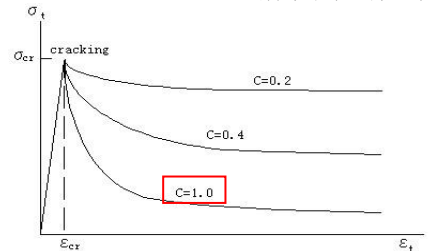


図-4 コンクリートの構成則（引張側）

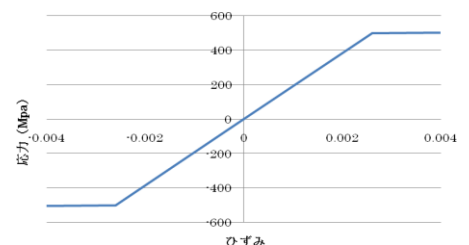


図-5 鉄筋の構成則

キーワード コンクリート製橋台、水平抵抗特性、数値解析
連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744, 電話・FAX 092-802-3377

解析に用いたコンクリートの圧縮強度，鉄筋の降伏応力などの材料特性値は表-1 に示すとおりである。

3. 解析結果

図-6 に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。表-2 と表-3 に解析モデルと実験供試体の損傷状況発生時の荷重と変位を示す。ウイング無しの場合，図-6 に示すとおり，初期剛性や，荷重が 50kN 付近で剛性が大きく変化することなど，荷重－変異曲線はおおむね一致している。しかし，表-2 に示したとおり，コンクリートがひび割れる時の変位および主鉄筋降伏時の変位については実験の方が大きい。これについては少し課題として残るが，ひび割れに関しては目視により初めて発生したと考えられる時の変位をひび割れ発生時の変位としているため，実際に発生した時の変位は実験観測値よりも小さくなるため，解析値も大きく間違っていないと考えられる。なお，ここでは示していないが，堅壁基部前面主鉄筋が降伏すると，堅壁前面基部のひび割れが横に広がり，側面にも広がっていく様子は解析でも再現できていた。

ウイング有りの場合は，解析が荷重制御で行っているため，300kN を越えたあたりから実験値と解析値が大きく異なりはじめるが，それまではシミュレートできているといえる。ウイング無しの場合と同様に，表-3 より，コンクリートのひび割れ発生時の変位については実験値の方が大きい，特にウイングについては大きく異なっているため，ここは少し検討の余地があるといえる。しかし，最初にパラペットと堅壁にひび割れが入り，それからウイングにひび割れが発生した状況はシミュレートできている。主鉄筋降伏の降伏荷重について見ると，ウイング無し，ウイング有りの両方でも，実験値とほぼ一致したことがわかり，橋台を弾性応答範囲内に収めるための情報は数値解析で得られると思われる。

4. おわりに

橋台の静的水平載荷実験の数値解析を実施した結果，解析について，実験結果と比較した結果，最大荷重までは実験とほぼ同様の挙動を示すことがわかった。特に主鉄筋降伏荷重についてはシミュレートできているので，橋台を弾性応答範囲内に収めるための情報は数値解析で得られると思われる。ひび割れ発生時の変位については少し検討が必要ではあるが，ひび割れの進展状況については，解析でも実験をシミュレートできることが確認できた。

表-1 材料試験結果

	材齢 日	質量密度 ton/mm ³	ヤング率 MPa	圧縮強度 MPa	引張強度 MPa
コンクリート(ウイング無し)	14	2.27 × 10 ⁻⁹	2.52E+04	27.6	2.4
コンクリート(ウイング有り)	21	2.23 × 10 ⁻⁹	2.71E+04	31.5	3.0
コンクリート(鋼板有り)	17	2.30 × 10 ⁻⁹	2.89E+04	33.8	2.7
D6鉄筋(SD295)	—	7.85 × 10 ⁻⁹	1.92E+05	500(降伏応力)	
D10鉄筋(SD295)	—	7.85 × 10 ⁻⁹	1.82E+05	372(降伏応力)	
D13鉄筋(SD345)	—	7.85 × 10 ⁻⁹	1.88E+05	388(降伏応力)	

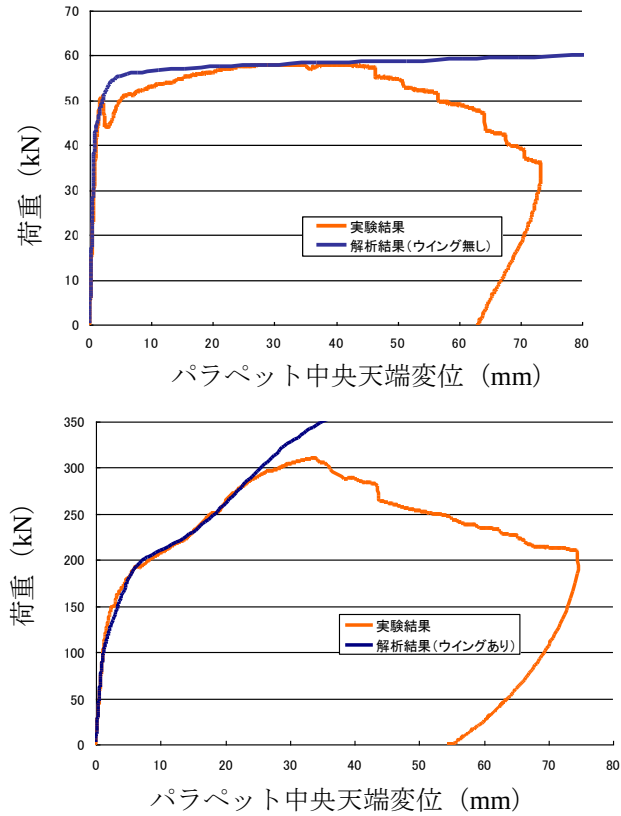


図-6 荷重と変位の関係

表-2 損傷状況発生時の荷重と変位 (ウイング無し)

		パラペット基部のひび割れ	堅壁基部のひび割れ	堅壁前面主鉄筋降伏
実験	荷重(kN)	45	34	54
	変位(mm)	1.27	0.62	3.21
解析	荷重(kN)	40	40	50.75
	変位(mm)	1.19	3.27	6.69

表-3 損傷状況発生時の荷重と変位 (ウイング有り)

		パラペット基部のひび割れ	堅壁基部のひび割れ	ウイングのひび割れ	堅壁前面主鉄筋降伏
実験	荷重(kN)	45	34	155	54
	変位(mm)	1.27	0.62	3.73	3.21
解析	荷重(kN)	40	40	251	50.75
	変位(mm)	1.19	3.27	17.96	6.69