

繰り返し荷重下のコンクリート充填鋼製橋脚の界面の接触圧と摩擦の影響に関する考察

名古屋市 正会員 ○水野 貢介

名古屋工業大学大学院 フェロー会員 後藤 芳顕

名古屋工業大学 産学官連携センター 正会員 Ghosh Prosenjit Kumar

1. はじめに: コンクリート充填鋼製橋脚は無充填橋脚に比べ橋脚の強度と変形能が大きく向上する. しかしながら, 繰り返し実験における詳細な計測データがないことと精密な解析法が開発されていないこともあり, そのメカニズムについては十分に明らかにされていない. すでに著者らは繰り返し荷重下の解析に ABAQUS¹⁾を用いることを前提に鋼管の構成則として3曲面モデルを導入したシェル要素(S4R・SC8R), 充填コンクリートの構成則として損傷塑性理論を用い, 仮想ひび割れを導入したソリッド要素(C3D8R), さらに鋼管とコンクリート界面の接触・離間挙動や接触時の摩擦挙動を表すためにコンタクトペアと接触ばねを用いる精緻な有限要素モデルを提案した^{2),3)}.

このモデルにより繰り返し荷重下の挙動を安定して解析でき, 実験で得られている充填コンクリート柱特有のくびれのある履歴曲線を精度良く再現することもできた. ここでは, 上記の解析モデルを用いることにより, コンクリート充填鋼製橋脚の界面の接触圧と摩擦の影響について検討する.

2. 解析モデル: 解析対象であるコンクリート充填橋脚を図1に示す. N1, No30 供試体は土木

研究所⁴⁾で行われたものである. 载荷は鉛直荷重を一定に保った上で, 初期降伏変位 U_0 に基づく通常の変位制御による漸増型1回繰り返しである. 解析モデルは基本的に従来と同様の有限要素モデル^{2),3)}を用いる. コンクリートと鋼材の界面については接触離間の挙動を正確に反映したコンタクトペアを全面に用いる. しかし, 矩形断面供試体は, コンタクトペアを全面に用いると数値計算が安定しないため, コンタクトペアはパネル面, 上ベースプレート面と充填コンクリートとの界面に対して使用し, ダイヤフラム面, リブ面と充填コンクリート界面に対しては近似的ではあるが接触ばね要素を用いる. 接触ばね要素は変形前に接触している互いの接点を基準に離間と接触を評価するもので, 一般に相対変形が大きくなった場合に精度が低下する問題点はあるが, 本モデルでは相対変形が大きくならないので問題は少ない. コンクリートと鋼材の界面には乾燥収縮を考慮して0.1~0.5mmのギャップを設けている. 鋼材の3曲面モデルの材料パラメータ値を表2に示す. また, コンクリートの損傷塑性モデルの材料パラメータ値を表3に示す. なお, 最大引張応力は最大圧縮応力の1/10と仮定している. 充填コンクリートのひび割れ発生が予測される位置に仮想ひび割れを導入するが, ここでは引張り相当塑性ひずみの分布状況からこの値が大きくなる位置に導入する.

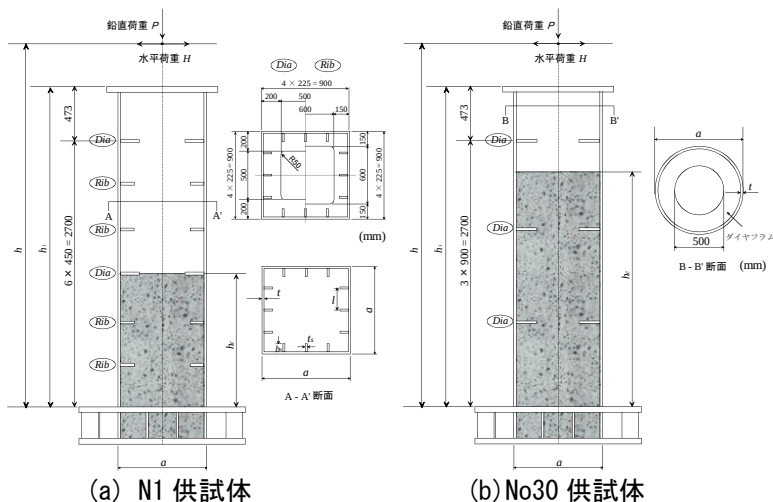


図1 供試体の形状

表1 供試体諸元とパラメータ

供試体	$h(\text{mm})$	$h_c(\text{mm})$	$t(\text{mm})$	$t_s(\text{mm})$	$b_s(\text{mm})$	$R_a(R_c)$	$\bar{\lambda}$	γ/γ^*	軸力比
N1	3473	1350	10.0	6.0	80.0	0.497	0.259	3.477	0.129
No30	3473	2303	9.0	—	—	0.123	0.268	—	0.199

表2 3曲面モデルのパラメータ

供試体	$E(\text{GPa})$	ν	$\sigma_y(\text{MPa})$	$\sigma_u(\text{MPa})$	ϵ_{yp}^0	f_b/σ_y	β	ρ	κ	ξ
N1	206	0.28	364	643	0.0105	0.35	100	2	3	0.5
No30	206	0.28	308	534	0.0183	0.25	150	2	2	0.1

表3 コンクリート損傷塑性のパラメータ

供試体	$E(\text{GPa})$	ν	$\sigma_c(\text{MPa})$	$\sigma_t(\text{MPa})$	ψ	K_c	σ_{b0}/σ_{c0}	ϵ	μ
N1	26.5	0.22	22.6	2.26	20.0	2/3	1.16	0.10	0
No30	21.8	0.20	21.5	2.15	38.0	0.70	1.10	0.20	0

キーワード コンクリート充填鋼製橋脚, FEM 解析

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL052-735-5021 FAX052-735-5563

3. 界面の接触圧と摩擦：円形断面橋脚(No30)と矩形断面橋脚(N1)とで鋼と充填コンクリート界面に生じる接触圧と摩擦力の差異を検討するために、それぞれの解析における最大荷重時の状況の比較を行った。No30 供試体については上ベースプレートからダイヤフラムまでの中間である 450mm の位置の接触圧と摩擦力をコンクリートの圧縮強度 f'_c で除し、それぞれの分布を図 2 と図 3 に示す。同様にして、図 4 と図 5 に N1 供試体の上ベースプレートからダイヤフラムまでの中間である 240mm の位置の断面の分布を示す。この結果から、No30 供試体には最大でコンクリートの圧縮強度の 10%程度の接触圧が界面全体に作用し、摩擦力も界面全体に発生する。これにより、鋼と充填コンクリート界面に働く摩擦抵抗も大きくなり橋脚の挙動に対する摩擦の影響が大きくなる。一方で、N1 供試体には補剛板パネルの角部に最大でコンクリートの圧縮強度の 173%の接触圧が局部的に生じる。これは、No30 供試体と比較すると非常に大きな接触圧となるが、角部を除くと接触圧は非常に小さく、ほとんど零である。このため N1 供試体に働く摩擦抵抗は角部を除いて、界面全体ではほとんど零である。数値解析では、摩擦抵抗が非常に小さいと、界面で滑りと除荷による固着が繰り返し生じ、解析の安定性が大きく損なわれる。

4. 摩擦の影響：解析で摩擦を考慮することが円形断面橋脚と矩形断面橋脚の履歴曲線に与える影響について検討する。図 6 に No30 供試体、図 7 に N1 供試体の水平荷重-水平変位の履歴曲線を示す。図 6 より、No30 供試体では、摩擦の有無で履歴曲線に違いが生じていることが分かる。これは、3. で示したように、円形断面橋脚は断面全体で鋼と充填コンクリートの接触が生じ、摩擦力も界面全体に作用するからである。一方、矩形断面橋脚は摩擦の考慮の有無が履歴曲線に与える影響は十分小さく、摩擦はほぼ無視できることがわかる。以上から、円形断面橋脚は数値解析において界面の摩擦を考慮する必要があるが、矩形断面橋脚は摩擦を無視することができる。矩形断面橋脚の場合、摩擦を無視すると数値計算の安定性が向上する。

参考文献： 1) ABAQUS/Standard User's Manual, Version 6.7, 2007, 2) 後藤・藤井・水野：相互作用を考慮した繰り返し荷重下のコンクリート充填矩形断面鋼製橋脚の終局挙動解析, 土木学会第 63 回年次学術講演会概要集 1-079, 2008, 3) 後藤・Ghosh・川西：充填コンクリートとの相互作用を考慮した円形断面鋼製橋脚の繰り返し挙動の FEM 解析, 土木学会論文集 A, Vol. 65, No. 2, 2009. 4) 建設省土木研究所：道路橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書(V), 共同研究報告書 182 号, 1997.

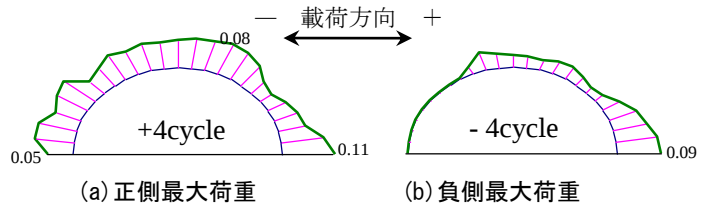


図 2 No30 の最大荷重時の (接触圧/ f'_c)

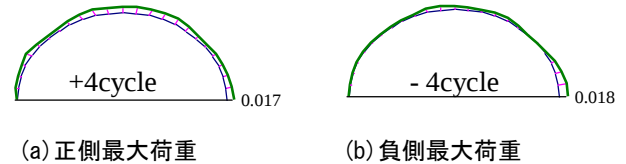


図 3 No30 の最大荷重時の (摩擦による応力/ f'_c)

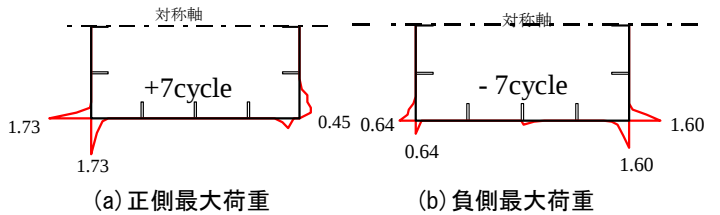


図 4 N1 の最大荷重時の (接触圧/ f'_c)

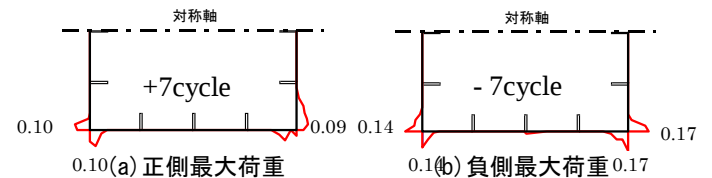


図 5 N1 の最大荷重時の (摩擦による応力/ f'_c)

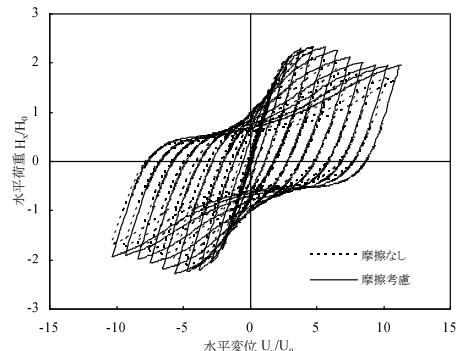


図 6 No30 の摩擦の影響

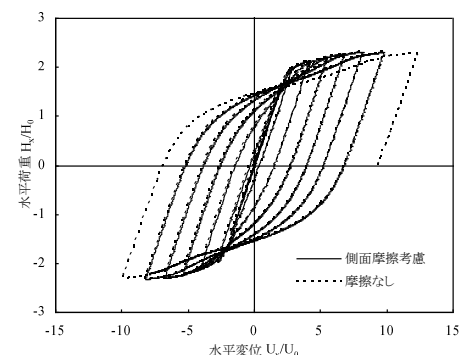


図 7 N1 の摩擦の影響