柱表面に摩擦減衰機能を有した高架橋の耐震性能

（株）大林組　　正会員　○田中　浩一
（株）大林組　　正会員　　江尻　譲嗣
京都大学防災研究所　　正会員　　澤田　純男

１．はじめに

鉄筋コンクリート構造における耐震設計は，柱の塑性化によりエネルギーを吸収する手法が一般的であるが，近年，減衰を付加して応答や損傷を低減する手法[1)]が提案されている。澤田らの研究[2)]では弾性範囲でも履歴吸収が可能となるように柱を鉛直に分割して各々を摩擦接合し，材料の塑性化を低減する手法が提案されている。本研究では，澤田らの研究で用いられている摩擦減衰を参考に，ラーメン高架橋に適用する場合の１手法として柱表面に摩擦減衰機能を設けた構造を提案する。そして澤田らの提案のような摩擦力分布以外も用いた場合の耐震性について解析により評価した結果を報告する。

２．柱表面の摩擦減衰機能

ラーメン高架橋に適用した場合の概念図を図-1 に示す。橋軸方向と直交する柱表面に配置した鉄板と柱との間に摩擦力が生じる構造である。澤田らの研究では柱上端，すなわち曲げモーメントゼロ近傍ですべり量が最大となる。この構造もそれと同様に柱中間高さで鉄板をカットオフしている。

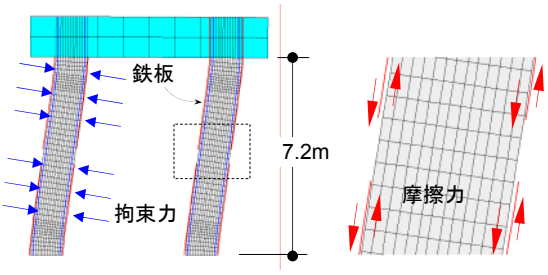


図-1　柱表面の摩擦減衰機構

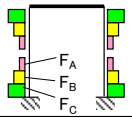
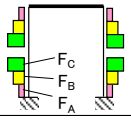
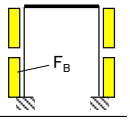
３．解析方法

ラーメン高架橋は仮想の高架橋である。柱高さは 7.2m，柱の中心間隔は 6.0m，柱断面は 1.2m×1.2m を仮定した。上層梁は弾性体とし，質量は柱に作用する軸力は 0.87N/mm^2 となるように設定した。橋脚の質量はコンクリート，鉄筋それぞれの単位重量を 22.5kN/m^3，77.0kN/m^3 として算出した。

コンクリートは四辺形要素，主鉄筋はトラス要素を用いて離散化したモデルである。なお，帯鉄筋は p_w=0.4%となるようにコンクリート要素中に分散させている。柱を構成するコンクリート，鉄筋は材料非線形を考慮するモデルとした。コンクリートの応力－ひずみ関係には修正 Ahmad モデル，ひび割れ後のテンションスティフニング特性は出雲モデル（C=0.8）を用いた。鉄筋の応力－ひずみ関係には二次勾配のないバイリニアとし，履歴特性は修正 Menegotto-Pinto モデルを用いた。

解析対象はプロトタイプ，主鉄筋低減タイプ，減衰付加タイプ，の３種類である。主鉄筋低減タイプは主鉄筋量がプロトタイプの 70%となっている。減衰付加タイプは主鉄筋低減タイプに摩擦減衰を付加したものである。摩擦力の分布は三角形型（A 型），逆三角形型（B 型），矩形型（F 型）の３種類である。これら５構造の詳細

表-1　解析パラメータ

構造形式（記号）	プロトタイプ（N）	主鉄筋低減型（T000）	減衰付加型（T015A）	減衰付加型（T015B）	減衰付加型（T015F）
上部工重量	2,512kN	2,512kN	2,512kN	2,512kN	2,512kN
柱断面	1200×1200	1200×1200	1200×1200	1200×1200	1200×1200
主鉄筋量（mm^2／柱）	14,400	10,080	10,080	10,080	10,080
摩擦力分布タイプ	－	－	A	B	F
摩擦力分布	－	－			
F_A(N/mm^2)	－	－	0.075	0.068	－
F_B(N/mm^2)	－	－	0.150	0.135	0.150
F_C(N/mm^2)	－	－	0.225	0.203	－
すべり変位(mm)	－	－	0.04	0.04	0.04
固有振動数(Hz)	5.070	4.973	5.282	5.287	5.287

キーワード　摩擦減衰，ダンパー，高架橋，耐震，制振
連絡先　　〒204-8558　東京都清瀬市下清戸 4-640　（株）大林組技術研究所　TEL　042-495-1111

表-2　解析結果の一覧

構造形式（記号）	プロトタイプ（N）	主鉄筋低減型（T000）	減衰付加型（T015A）	減衰付加型（T015B）	減衰付加型（T015F）
降伏荷重	1504	1080	1504	1472	1504
（kN）	100%	72%	100%	98%	100%
降伏変位（mm）	20.14	17.29	21.17	17.86	19.69
応答変位	192	364	189	176	175
（mm）	100%	190%	98%	92%	91%
応答塑性率	9.5	21.1	8.9	9.9	8.9
最小ひずみ	−8670	−22087	−8728	−7537	−7956
（μ）	100%	255%	101%	87%	92%

※：表中のパーセントはプロトタイプに対する百分率。

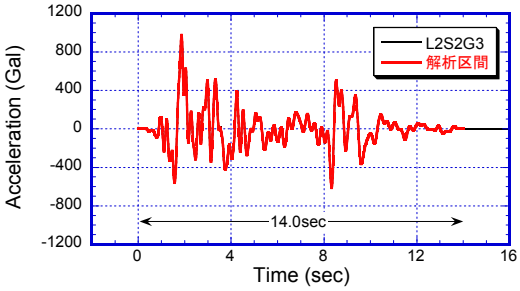


図-2　地震波

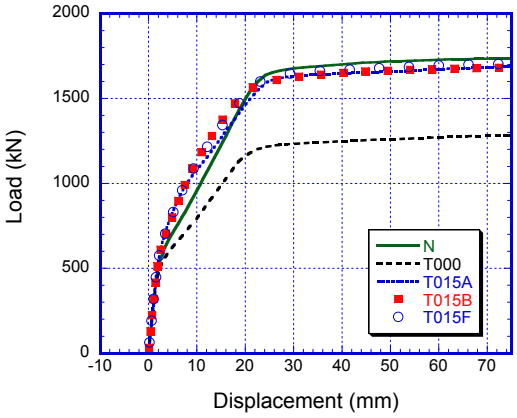


図-3　荷重－変位関係

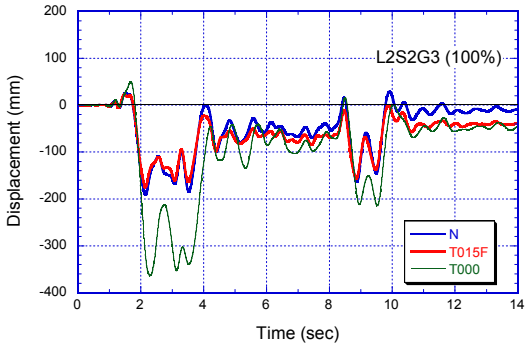


図-4　荷重－変位関係

を表-1 に示す。なお，いずれもコンクリートは 30N/mm^2，鉄筋は SD345 とした。また，摩擦力を伝達する鉄板（SS400）はファイバー要素としたが，摩擦力が作用しても降伏しない十分な厚さ（面積）を与えている。動的解析に先立ち，静的解析と固有値解析を行った。各構造の固有値も表-1 に示す。また動的解析は各構造における 1 次モードで減衰定数が 0.3%となるように剛性比例で与えた。動的解析に用いた地震波（L2S2G3）を図-2 に示す。なお，逸散減衰などの効果は考慮していない。

４．解析結果

静的解析の結果を図-3 に示す。プロトタイプと減衰付加タイプは，最大耐力がほぼ等しくなるように摩擦力が調整してある。なお，主鉄筋低減タイプの耐力はプロトタイプの約 70%である。

応答変位の一例を図-4 に，応答変位一覧を表-2 に示す。最大耐力が等しいにもかかわらず，減衰付加タイプの応答変位はプロトタイプよりもやや小さな値となる。また，主鉄筋低減タイプと比べると減衰付加タイプの応答変位は大幅に小さい。表-2 中には柱に生じた最小ひずみ（圧縮ひずみの最大値）を示す。減衰付加タイプの圧縮ひずみはプロトタイプよりもやや小さく，主鉄筋低減タイプよりも大幅に小さい。圧縮ひずみの低減効果が最も大きかったのは B 型や F 型と言えるが，ひとつの地震波のみで摩擦力分布の優劣をつけるには解析数が少なく，今後の課題と言える。既往の研究[2)]では A 型が最も良いとされたが，本構造の場合，摩擦分布が曲げ耐力に与える影響は大きいものの，曲げ剛性に与える影響は小さいために減衰の効果が現れにくかったと思われる。

５．解析結果

摩擦減衰機構を柱表面に配置した高架橋の動的解析を行った結果，以下のことが分かった。

・同じ主鉄筋量の場合，摩擦減衰機構を与えると耐力が上昇し，応答変位を大幅に低減できる。

・摩擦減衰機構と同等の耐力を有する高架橋よりもコンクリートの塑性化を低減できる。

参考文献

1) 小林俊彦ほか：ダンパーブレース付きＲＣ橋脚構造の動的加振試験，第 56 回土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部，pp.710-711，2001.9.

2) 澤田純男ほか：摩擦減衰機構を有する弾性耐震橋脚柱の提案，第 60 回土木学会年次学術講演会講演概要集第 1 部，pp.541-542，2005.9.