材料強度の違いが構造物の振動特性に与える影響の感度分析

（公財）鉄道総合技術研究所　正会員　日野　篤志　小野寺　周　室野　剛隆
パシフィックコンサルタンツ（株）　正会員　○今川　純一　高橋　健

１．はじめに

構造物の振動特性は地震時挙動を把握する上で重要なパラメータであり，その値は構造形式や部材寸法，地盤条件の他，鉄筋やコンクリートの材料強度等に代表される構造物の諸元によって決定される．ここで，構造形式や部材寸法は図面等を参照することで実構造物の諸元を確認できる一方で，コンクリートや鉄筋等の使用材料についてはその判別が比較的困難であり，設計年代の古い構造物では図面や計算書に示されている規格とは異なるものが使用されていることも少なくない．使用材料の規格が異なった場合，構造物の振動特性が変化することは想像に難くないが，振動特性に影響する材料の物性値やその影響の程度については十分に整理されていない．

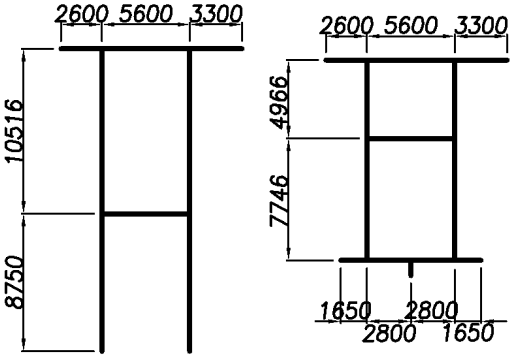
以上を踏まえて，本稿では，コンクリートおよび鉄筋の材料強度をパラメータとし，ラーメン高架橋および橋脚を対象としたプッシュ・オーバー解析を実施することで，材料強度の違いが振動特性に及ぼす影響の感度分析を行った．材料強度が振動特性に及ぼす影響を分析することで，鉄道総研において現在開発中のインベントリーデータベース [1] の効率的な利用が可能となる．

２．検討パラメータおよび検討対象構造物

一般的な鉄道構造物の解析モデルを構築し，材料強度をパラメータとしたプッシュ・オーバー解析を行うことで振動特性である降伏震度 k_{heq} および等価固有周期 T_{eq} を算定した．検討対象とした構造物を**表 1** に示す．Case1～10 の対象構造物は，平成 11 年の耐震標準 [2] に準拠した構造物とそれ以前に設計された構造物から選定しており，線路方向および線路直角方向を二次元はりばねモデルにてモデル化した．**図 1** に異なる構造形式を有する検討対象構造物の一例として，Case1 および Case4 のモデル軸線図を示す．Case1 は杭基礎の一層式ラーメン高架橋を線路直角方向に，Case4 は直接基礎の二層式ラーメン高架橋を線路直角方向にモデル化したものである．構築した解析モデル 1 ケースに対して，**表 2** に示すような現行の設計基準 [3), 4)] で一般的に使用される鉄筋強度およびコンクリート強度をパラメータとした解析を実施した．

表 1　検討対象構造物

解析ケース	モデル概要
Case1	ラーメン杭基礎，1 層式
Case2	ラーメン杭基礎，2 層式
Case3	ラーメン直接基礎，1 層式
Case4	ラーメン直接基礎，2 層式
Case5	ラーメン直角方向 1 径間
Case6	ラーメン高架橋（L 方向）
Case7	橋脚（杭基礎）
Case8	橋脚（直接基礎）
Case9	既成杭橋脚
Case10	杭基礎，1 層式



(a)　Case1　　(b)　Case4

図 1　モデル軸線図

表 2　検討パラメータ

材料強度	パラメータ（N/mm²）
コンクリート強度	18，24，27，30
主鉄筋強度	290，345，390
帯鉄筋強度	290，345，390

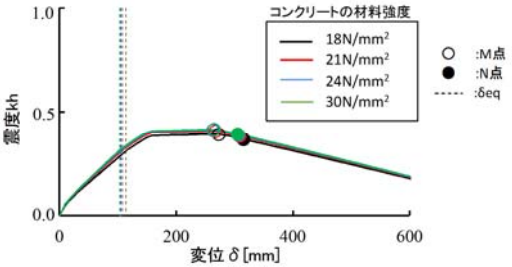


図 2　コンクリート強度の感度分析

３．プッシュ・オーバー解析結果

はじめに，Case1 に対してコンクリートの材料強度が振動特性に与える影響について検討した．なお，現行の耐震設計における RC 部材の損傷が鉄筋の強度に依存していることを勘案し，コンクリート強度のみをパラメータとし，主鉄筋・帯鉄筋はともに材料強度 290N/mm² とした 1 ケースのみ検討した．プッシュ・オーバー解析による荷重－変位曲線を**図 2** に示す．**図 2** より，コンクリート強度の違いによる荷重－変位関係には大きな変化は見られず，

キーワード　材料強度，振動特性，ラーメン高架橋，橋脚，静的非線形解析
連絡先　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　鉄道総合技術研究所　鉄道地震工学研究センター

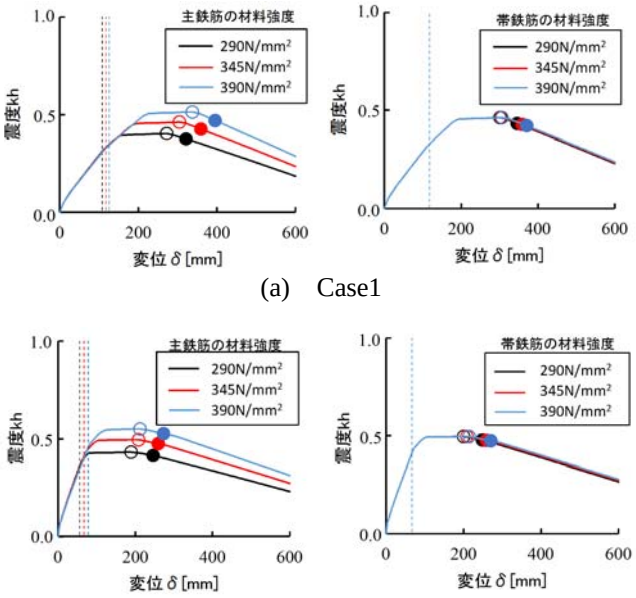
コンクリートの材料強度が振動特性に与える影響は小さい．

次にコンクリート強度を一定とし，**表 2** に示す主鉄筋もしくは帯鉄筋の材料強度をパラメータとしたプッシュ・オーバー解析を実施した．**図 3** には，Case1 および Case4 について，主鉄筋強度を 345N/mm² で一定とした場合と帯鉄筋強度を 345N/mm² で一定とした場合の結果を示している．**図 3** より，いずれの解析ケースも主鉄筋強度の変化により荷重－変位関係に相違が見られる一方，帯鉄筋強度による変化はほとんど見られない．この傾向は他ケースでも同様であることを確認しており，今回対象とした構造物では，主鉄筋の材料強度により振動特性が変化すると言える．

4．材料強度の違いによる振動特性の変化

3．より得られた降伏震度 k_{heq} および等価固有周期 T_{eq} について，鉄筋強度の違いによる変化率を求めることによってその感度を分析した．なお，鉄筋強度は鉄道構造物として使用実績の多い 345N/mm² を基準とした．

Case1 における主鉄筋強度もしくは帯鉄筋強度をパラメータとした振動特性の感度分析結果を**図 4** に示す．**図 4** より，帯鉄筋強度が振動特性に与える影響は小さく，主鉄筋強度が比較的大きく影響していることが分かる．同様に，全解析ケースについて，主鉄筋強度をパラメータとした振動特性の変化率を**表 3** に示す．**表 3** より，T_{eq} について，主鉄筋強度の違いによる変化は小さく，主鉄筋強度は T_{eq} に大きく影響を与えないことが分かる．また，k_{heq} については，いずれの解析ケースにおいても，構造形式による相違は小さく，変化率は 290N/mm² の場合で概ね 0.9 倍，390N/mm² の場合で 1.1 倍となった．以上より，本検討で想定した使用材料のうち，主鉄筋強度のみが k_{heq} に 1 割程度の影響を与えることが分かった．また，T_{eq} に関しては使用材料の違いによる影響は小さい．



(a)　Case1

(b)　Case4

図 3　鉄筋強度の感度分析

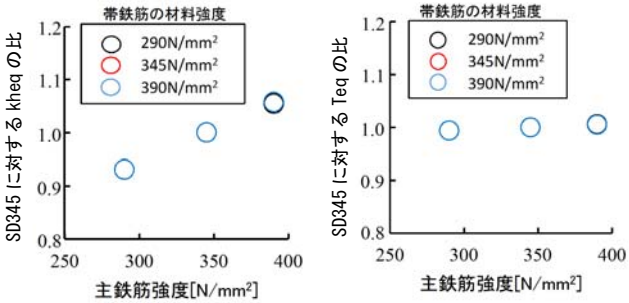


図 4　Case1 における鉄筋強度の基準値に対する振動特性の変化率

表 3　主鉄筋強度の違いによる振動特性の変化率

解析ケース	k_{heq}		T_{eq}	
	290N/mm²	390N/mm²	290N/mm²	390N/mm²
Case1	0.93	1.06	0.99	1.01
Case2	0.95	1.03	1.00	1.00
Case3	0.87	1.11	0.98	1.02
Case4	0.88	1.11	0.97	1.02
Case5	0.88	1.10	0.98	1.02
Case6	0.88	1.10	0.97	1.03
Case7	0.91	1.08	0.99	1.01
Case8	0.96	1.03	0.99	1.01
Case9	0.90	1.08	0.98	1.02
Case10	0.85	1.14	0.97	1.02

5．おわりに

本稿ではコンクリートおよび鉄筋の材料強度が構造物の振動特性に与える影響について分析を行った．その結果，今回対象とした構造物においては，コンクリートおよび帯鉄筋の材料強度の違いが等価固有周期 T_{eq} に与える影響は小さく，主鉄筋の材料強度の違いのみが降伏震度 k_{heq} に影響を与えることが分かった．主鉄筋強度の違いによる k_{heq} の変化率は構造形式にはよらず，材料強度 345N/mm² を基準とすると，290N/mm² の場合に 0.9 倍，390N/mm² の場合に 1.1 倍となる．本成果により，インベントリーデータベースから振動特性の値を抽出する際に材料強度に応じた補正が可能となる．なお，本研究の一部は，国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した．

参考文献　1) 日野，室野，和田：インベントリーデータベースを用いた構造物のリスク評価手法の提案，土木学会　第 72 回年次学術講演会，2017．（投稿中）2) 鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），1999．3) 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），2004．4) 鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），2012．4