

1. はじめに

日本は世界でも有数の地震発生地帯に位置し、震度5以上の地震が起こるのも稀でない。近年では、東海地震や南海地震、さらにそれらの連動型地震など規模の大きい地震の発生が危惧されている。これらの地震は、規模が大きいため他の地震波と比べ、地震動継続時間が数分程度と非常に長くなることが予測されている。

現在の地震による被害予測は、地震波形の最大振幅に大きく依存する実行加速度により算出される計測震度を基に行われている。そのため実行加速度より少し小さめの揺れが長く続く場合の影響があまり考慮されておらず、予測を上回る被害が出る恐れがある。これらのことは過去の研究で示されている。しかし一般的に継続時間の影響がどのくらい出るかは明らかではない。この影響調べるには同じ基準で設計された構造物で検証する必要がある。

そこで、本研究では解析対象をRC高架橋の一本柱形式の橋脚とし、柱の高さや柱にかかる荷重について様々なケースで地震応答解析が可能な1自由度系へモデル化する方法について検証する。1自由度系モデルは、構造モデルがシンプルで解析時間が短くて済むため、より多くの地震波について容易に解析を行うことができる。

2. 研究の流れ

複数の構造物に対して静的集中荷重解析を行い、構造物全体の水平抵抗力-変形量 ($P-\delta$) 関係を求める。水平抵抗力 P を構造物の全質量 M (上載荷重も考慮) で割り、同様に変形量を構造物の柱躯体の高さ H で割ることで $P/M-\delta/H$ 関係を求め、これらの平均を取る。この平均化された $P/M-\delta/H$ 関係に解析対象構造物の高さおよび質量を入力することで得られる水平抵抗力-変形量関係を、その構造物の1自由度系モデルの復元力特性とする。柱の部分をこの得られた復元力特性を持つ1つのバネに置き換えることで多自由度系を1自由度系にモデル化する方法を検証する。この方法を用いた研究¹⁾が過去に行われたが、似た形の実構造物を対象としていたため、得られた $P-\delta$ 関係のデータにばらつきがあり、一般的に扱うには精度が低いものとなっていた。そのことを考慮し、今回の研究では、同じような断面を持ち、安全性も揃えた橋脚を複数試設計しそれを解析対象とした。

多自由度系モデルと1自由度系モデルそれぞれに同じ地震波を入力し、得られたデータからこのモデル化について検証する。

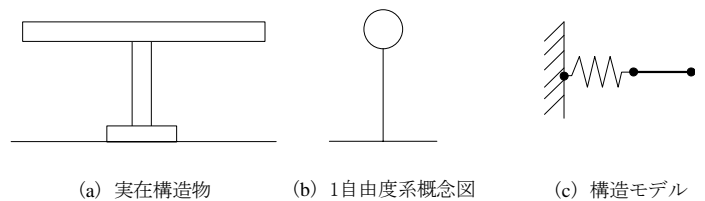


図-1 1自由度系構造モデル

3. 解析対象構造物

解析対象の構造物は、図-2 に示すようなスパン 20,25,30,35,40m、柱高さ 7.5,8.5,9.5,10.5m 高架橋の一本柱形式の橋脚計 20 ケースとする。今回は、柱高さ、スパンの長さ(載荷荷重)の変化に対応できる1自由度系モデルの作成を目指すことより、道路幅・張出し梁は固定値とした剛体として扱う。

道路橋示方書²⁾に記された震度法を基準にし、設計書³⁾を参考に試設計を行った。

複鉄筋長方形断面のひび割れ後を仮定して応力計算を行い、安全性を揃えるため、 $\sigma_c / \sigma_{ca} = 0.392$ (圧縮応力度/許容圧縮応力度)、 $\sigma_s / \sigma_{sa} = 0.475$ (引張り応力度/許容引張り応力度)に近い値になるように各ケース試設計を行った。また断面の幅と高さの比を 7:2 程度にした。使用するコンクリートは設計基準強度 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 、鉄筋は SD 295A とした。

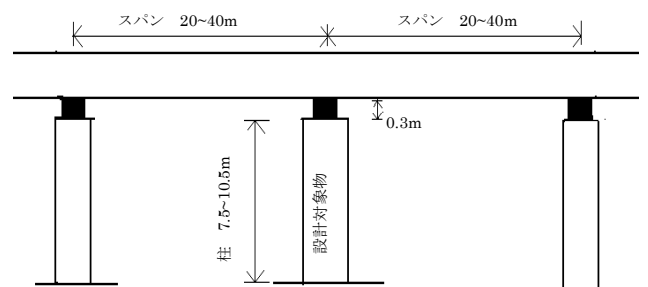


図-2 解析対象構造物

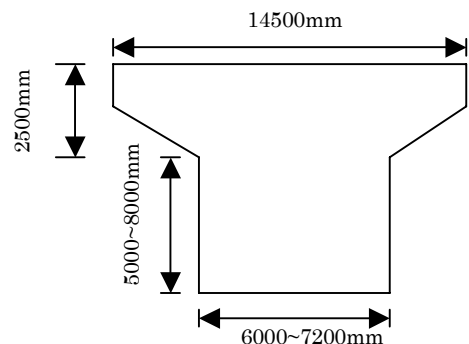


図-3 橋脚橋軸方向断面図

4. 静的集中荷重解析

3.で示した橋脚を図-4 のような多質点のモデルとし、上部の節点に強制的に変位を与え、構造物全体の水平抵抗力-変形量($P-\delta$)関係を求めた。柱高さ 7.5m の結果を図-5 に示す。スパン長(上載荷重)が大きいものをほど、変位に対する水平抵抗力が大きくなっている。またその間隔はほぼ等しくなっている。他の高さでも同様の結果が得られた。

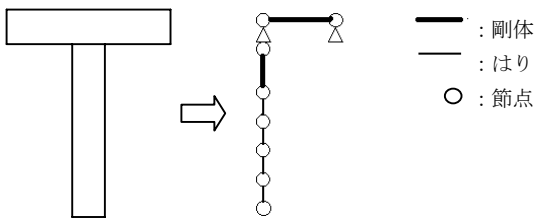


図-4 解析時モデル

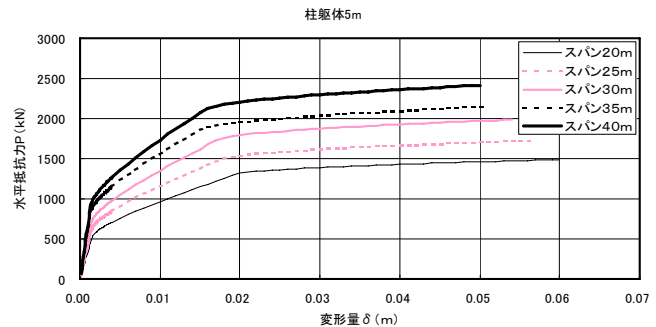


図-5 柱高さ 7.5m P- δ 関係図

5. 1自由度系モデルの復元力特性

4.で得られた水平抵抗力 P を構造物の全質量 M で割り、同様に変形量 δ を柱の躯体高さ H で割ることで $P/M-\delta/H$ 関係を求める。これらの限界状態点を柱高さごとに平均化したものを図-6 に示す。図よりほぼ同じ値に収束していることがわかる。これらの点をさらに平均し、質量と高さを入力することで1自由度系モデルの復元力特性を求められる形にする。

6. 1自由度系モデルと多自由度系モデルの地震応答解析による比較

5.で得た、復元力特性をもとに作られた1自由度系モデルと設計時の多自由度系モデルに同じ地震波を入力し、結果 図-6 柱高さごとに平均した限界状態点を比較する。使用する地震波は、周期・継続時間がともに短い1962年の広尾沖地震と周期・継続時間がともに長いとされる近年発生されると予想されている東海東南海複合型地震のものとする。対象構造物は、(高さ 7.5m・スパン 20m,40m),(高さ 8.5m・スパン 30m)、(高さ 10.5m・スパン 20m,40m)の計5ケースとする。高さ 8.5m・スパン 30m の1自由度系と多自由度系モデルの結果を重ねて表示した広尾沖地震の時刻歴応答変位図を図-7 に示す。両モデルがほぼ等しい挙動を示していることが確認できた。東海東南海複合型地震も同様な結果を得た。他のケースでもほぼ同じ挙動を示すことを確認した。

各地震波による塑性化の進行具合を塑性率でまとめたところ、1自由度系モデルの方が小さくなることが確認できた。高さ 8.5m・スパン 30m の塑性率を表-1 に示す。継続時間が長く揺れの回数が多いほうがよりその差が大きくなることが確認できる。

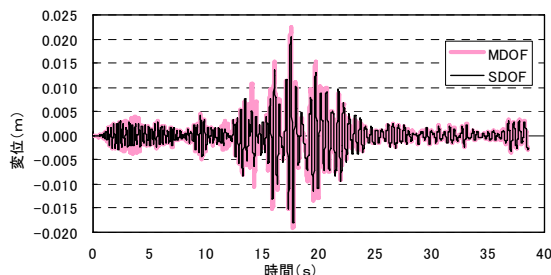
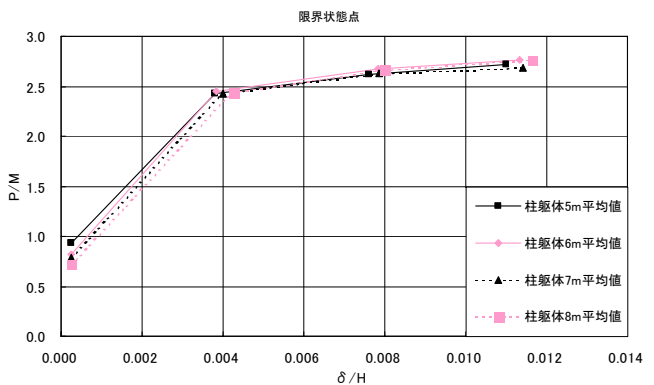


図-7 広尾沖地震 時刻歴応答変位図

表-1 高さ 8.5m・スパン 30m の各地震時の塑性率

広尾沖地震	1自由度系塑性率	0.86
広尾沖地震	多自由度系塑性率	0.98
広尾沖地震	塑性率比(1自由度系/多自由度系)	0.88
複合型地震	1自由度系塑性率	1.89
複合型地震	多自由度系塑性率	4.98
複合型地震	塑性率比(1自由度系/多自由度系)	0.38

7. まとめ

本研究では静的集中解析得られた復元力特性を用いて、多自由度系モデルを1自由度系にモデル化する方法を地震応答解析により検証した。結果から地震波に対する挙動はほぼ等しく再現できることが示された。しかし構造物の具体的な被害を表す塑性率では、1自由度系が小さくなってしまっていた。今後解析例を増やし、これらの値を適切に補正する方法が求めれば、モデル化の精度を高めることができると考えられる。

参考文献

- 1) 佐藤直樹：地震動継続時間が構造物の地震応答に及ぼす影響、名古屋工業大学修士論文、2009
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説、丸善、2002
- 3) 矢作枢,和田克哉,五十嵐功,五瀬伸吾,田中英明,原隆史,易鋒：よくわかる橋梁下部構造物の耐震設計、山海堂、2002