

マルチステップ変形吸収機構の開発

東北大学 学生会員 ○近藤 真弥
東北大学 正会員 運上 茂樹

1. はじめに

橋梁構造物の耐震設計では損傷制御部材を橋脚基部など 1 部材に設定されていたが、想定を超えるような超過地震力が作用した場合に 1 部材による変形吸収には限界がある。本研究では複数の部材で段階的に変形吸収を行い、各部材の損傷程度の低減、および構造物全体としての変形吸収性能の向上を図るマルチステップ変形吸収機構を提案する。ここでは一般的な道路橋を対象に免震支承、橋脚、直接基礎の合計 3 部材に対し段階的に変形吸収を図るこことし、各部材の変形吸収量を制御するために橋脚の二次剛性をパラメータとした静的プッシュオーバー解析および地震応答解析を行い、その実現性を検討した。

2. 解析モデルおよび解析パラメータ

2.1 解析モデル

「平成 9 年道路橋の耐震設計に関する資料」¹⁾に示される 5 径間連続鋼 I 桁橋の中間部の RC 橋脚を解析対象とし、汎用構造解析プログラム TDAPIII を用いて図-1 に示すように 3 質点梁バネモデルを作成した。免震支承はバイリニア型モデル、橋脚基部の塑性ヒンジ部は最大点指向 Takeda モデル、直接基礎の浮き上がり伴うロッキング変形は原点指向トリリニア型モデルとした。また、橋脚躯体部は線形梁要素とした。

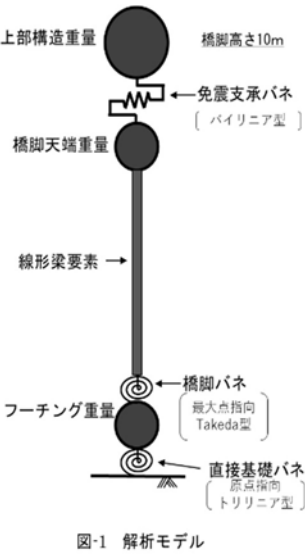


表-1 免震支承パラメータ		
初期剛性 K_1	降伏耐力	剛性低下率
kN/m	kN	K_2/K_1
4.754×10^3	760	0.19

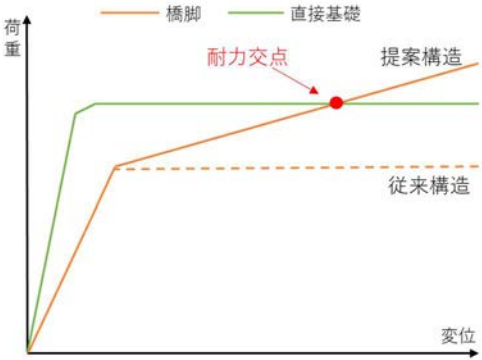
表-2 直接基礎パラメータ		
初期剛性 K_1	第1剛性低下点	剛性低下率
kN*m/rad	kN*m	K_2/K_1
1.724×10^7	33000	0.1
	基礎耐力	剛性低下率
	kN*m	K_3/K_1
	34000	0.001

表-3 橋脚パラメータ			
橋脚降伏震度	初期剛性	降伏モーメント	耐力差 (基礎-橋脚)
	kN*m/rad	kN*m	kN*m
0.3	1.127×10^7	17460	16320
0.4		23520	10480
0.5		29400	4600

これらのパラメータは表 13 に示す通りである。

2.2 解析パラメータ

本研究では橋脚の二次剛性をパラメータとしてマルチステップ変形吸収機構の実現性を検討する。橋脚に二次剛性を付与することにより図-2 に示すように、橋脚降伏後に変形の増加に伴って橋脚の耐力を増大させ、基礎の耐力を超過させることで主たる変形を橋脚から直接基礎のロッキング変形に移行させる。ここでは橋脚の降伏震度を表-3 に示すように 3 ケース設定し、各ケースについて橋脚の二次剛性を初期剛性に対する比で 0.0001 と 0.01 から 0.15 まで 0.01 刻みで 15 段階変化させ、合計 16 段階で設定した上で静的プッシュオーバー解析および時刻歴応答解析を行った。



3. 静的プッシュオーバー解析

3.1 解析条件

解析モデルに対して静的震度 0.6 まで 6000 ステップに分割して载荷した。また、橋脚の耐力が直接基礎の耐力を超える点で解析を終了している。ここで仮に橋脚の終局変位を橋脚天端で 0.20m と定め、橋脚が終局状態に達する点と基礎の耐力との交差が起る点の関係性を確認した。

3.2 解析結果

静的解析よりいずれのケースも免震支承が初めに降伏し、続いて橋脚が降伏した。例として図-3 に降降震度 0.4 で橋脚の二次剛性なし（従来構造を想定）

キーワード マルチステップ変形吸収機構、耐震設計、免震支承、橋脚、直接基礎、変形性能
連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL:022-795-7449 FAX: 022-795-7448

のケースおよび橋脚の二次剛性比 0.10 のケースの橋脚と直接基礎の変形特性を示す。これより従来構造を想定したケースでは橋脚のみに変形の増加が見られ、基礎は弾性範囲であるが、橋脚に二次剛性を付与したケースでは橋脚降伏後の変形量の増加に伴い直接基礎による変形が生じていることが分かる。

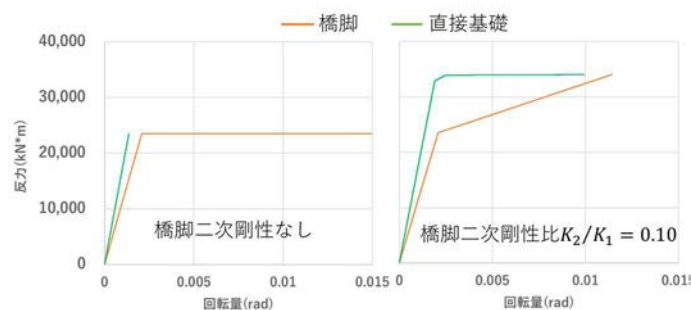


図-3 静的プッシュオーバー解析結果

4. 時刻歴応答解析

4.1 解析条件

入力地震動として道路橋の耐震設計におけるレベル2 地震動I種地盤タイプIおよびタイプIIを用い、超過地震力を想定し、必要に応じて各地震動の入力倍率を変化させて解析を行った。積分方法は加速度一定 Newmark β 法とし、減衰は1次および3次モードに基づき Rayleigh 減衰を設定した。

4.2 解析結果

(1) 橋脚の二次剛性比と各部材の履歴曲線の関係

ここでは一例として橋脚の降伏震度 0.4 でタイプII地震動(1)を2倍にして作用させた場合における橋脚の二次剛性なし(従来構造を想定)、橋脚の二次剛性比 0.05, 0.10, 0.15 の場合の計4ケースの各部材の履歴曲線を図-4に示す。これより、従来構造を想定したケースでは免震支承と橋脚の2つの部材で変形吸収を行っているが、橋脚に二次剛性を付与したケースでは橋脚の反力の増加に伴い、直接基礎の反力が最大耐力に達し直接基礎の変形も発生し合計3部材でのエネルギー吸収が実現していることが確認できる。また、橋脚の二次剛

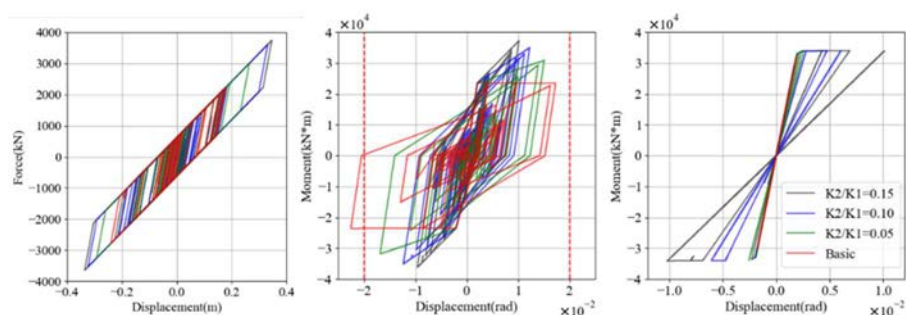


図-4 2倍の地震動を作用させた場合の各部材の履歴曲線(左:免震支承, 中央:橋脚, 右:直接基礎)

性の発現に伴い免震支承の変位の増大によるエネルギー吸収量も増加している。

(2) 橋脚二次剛性比と各部材の最大変形量の関係

図-5に地震動を2倍とした場合で3部材での変形吸収が実現した場合の各部材の最大変形量を示す。橋脚に二次剛性を付与することにより橋脚と直接基礎による変形はトレードオフの関係となること、免震支承によるエネルギー吸収量も増加すること分かる。

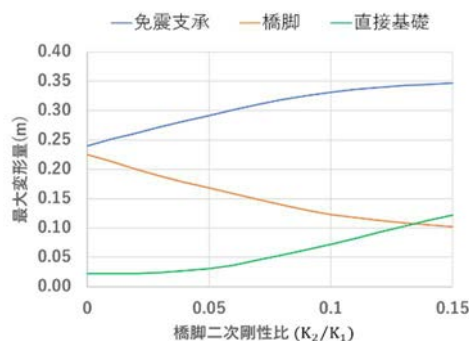


図-5 各部材最大変形量

(3) 直接基礎のロッキング開始点の検討

図-6に橋脚の降伏震度を0.5とした場合の橋脚と直接基礎の履歴曲線の一例を示す。これによれば橋脚の反力が直接基礎の耐力を超過しなくても、これに近づいた段階で直接基礎のロッキング変形が発生している。これは、構造部材の慣性力によるものと推定され、変形部材の段階的制御には、部材間の耐力バランスのみならずこうした点にも留意する必要があると考えられる。

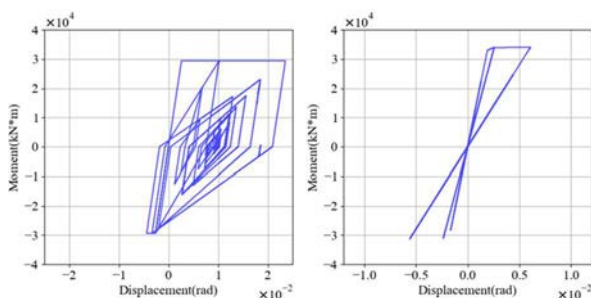


図-6 橋脚と直接基礎のエネルギー吸収が同時に発生したケース

5. まとめ

以上より、橋脚に適切な二次剛性を付与することで免震支承、橋脚、直接基礎の合計3部材による変形吸収が実現し、橋脚の損傷量の低減、構造全体での変形吸収

性能の向上が期待できること、一方、変形部材の段階的制御には部材間の耐力バランスのみならず構造物全体の挙動を適切に考慮する必要があることが明らかとなった。

参考文献

- 1). 社団法人 日本道路協会:道路橋の耐震設計に関する資料, 1995