

複合ラーメン橋と連続桁橋の耐震性の比較検討

宇都宮大学 ○学生員 小関聡一郎，フェロー 中島章典
総合技術コンサルタント 長瀬嘉理

1. はじめに

連続桁橋の設計に際しては、耐震性や経済性の観点から、免震支承を有する連続桁橋が採用されるのが一般的であるが、最近では、高い耐震性や維持管理の観点から、複合ラーメン橋が採用される例も増えてきている。鋼上部工と鉄筋コンクリート橋脚などの下部工を剛結した鋼・コンクリート複合ラーメン橋は耐震性、経済性に優れた特徴を有している。¹⁾ 一方、免震支承を有する連続桁橋は長周期化とエネルギー吸収による地震力の低減を期待できる。しかし、橋脚などの構造的諸元を考慮した場合、両橋梁形式のどちらがより有利であるかはあまりはっきりしていない。

そこで本研究では、同じ上部構造諸元をもつ免震支承を有する連続桁橋と複合ラーメン橋を対象とし、基本的な耐震性能の限界状態に対して、どちらの橋梁形式が有利であるのかについて基礎的検討を行った。

2. 検討対象構造

本研究では、図-1に示すような同じ上部構造諸元を有する複合ラーメン橋と免震支承を有する連続桁橋を対象とする。免震支承を有する連続桁橋の全体図を図-2、複合ラーメン橋の全体図を図-3に示す。上部構造は、PC床板を有する鋼2主桁橋とし、そのスパン構成は40m、50m、40mである。同じ諸元の上部構造を有する両橋梁形式において、1つの主な比較項目は、整合性の取れた思想で耐震設計を行った場合のRC橋脚の諸元になると考えられる。なお、上部構造の両端は可動支承とし、橋脚基部は固定とした。ここでは、橋脚高さとして、20、30、40、50mの場合を考える。

ここで、橋脚は図-4に示すような、圧縮鉄筋と引張鉄筋をそれぞれ1段有する長方形断面とし、橋軸方向の橋脚断面寸法を高さH、橋軸直角方向の橋脚断面寸法を幅Bと定義する。なお、地盤はI種地盤として、設計地震動の算出を行った。

3. 橋脚の耐震設計方法

(1) はじめに

両橋梁形式において最適な橋脚断面を設計し、その橋脚断面を比較することでどちらの橋梁形式が有利であるかを比較する。ここでの最適な橋脚断面とは、考慮する地震動に対して後述する限界状態に至らない合理的な橋脚断面とする。

次に限界状態の定義を行う。レベル1地震動に対しては、橋脚基部断面の最外縁にある軸方向引張鉄筋が降伏する時をレベル1地震動の限界状態とし、その時の震度をレベル1限界震度と定義する。レベル2地震動に対しては、橋脚基部断面の圧縮側コンクリートの最外縁が終局ひずみに達するときをレベル2地震動の限界状態とし、その時の震度をレベル2限界震度と定義する。

(2) 設計概要

最適な橋脚断面を決定するために、橋脚のパラメータを変化させ繰り返し計算を実施する必要がある。変化させるパラメータとして高さH、鉄筋径、鉄筋量があげられる。幅Bは上部構造の鋼桁の間隔に合わせ、6mで固定と

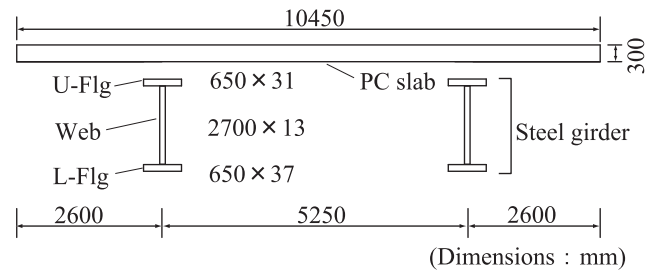


図-1 上部構造

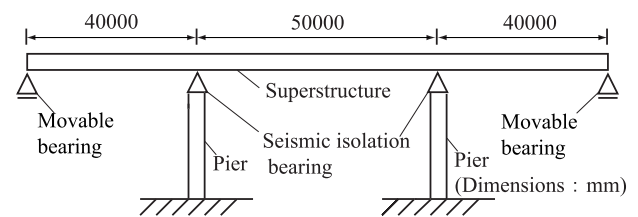


図-2 連続桁橋の全体図

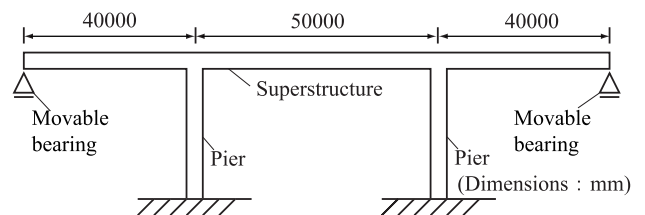


図-3 複合ラーメン橋の全体図

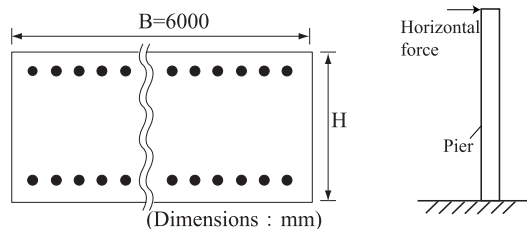


図-4 橋脚断面

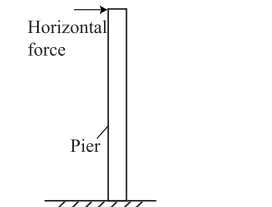


図-5 単柱式橋脚モデル

した。鉄筋径はD32あるいはD35を用いて、圧縮鉄筋及び引張鉄筋を同量配置することとする。鉄筋のあきを考慮し、D32を用いる場合には最大82本、D35を用いる場合には最大78本までとした。また、鉄筋比0.008～0.06に収まる範囲内で鉄筋量を決定した。これらのパラメータの範囲を前提条件として最適な橋脚断面の設計を行う。

以上のような条件の下、橋脚の限界状態を確認するための解析方法として、断面のコンクリートと鉄筋あるいは鋼桁の間に平面保持が成り立つ平面ファイバー要素を適用したプッシュオーバー解析を用いた。ここで、コンクリート、鉄筋、鋼桁の応力ひずみ関係は非線形性を考慮したものを用いた。

複合ラーメン橋と免震支承を有する連続桁橋では、橋脚の設計方法が異なるので個別に説明する。

a) 免震支承を有する連続桁橋の場合

免震支承を有する連続桁橋の場合には橋脚のみを図-5のように単柱式橋脚にモデル化し、水平力を作用させること

Key Words: 複合ラーメン橋, 免震支承, 連続桁橋, 限界状態, RC橋脚

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210

表-1 連続桁橋において設計した断面とその時の設計水平震度

橋脚高さ	長さ H	使用鉄筋	鉄筋本数	鉄筋比	レベル 1	レベル 1 限界	タイプ I レベル 2	タイプ II レベル 2	レベル 2 限界
20m	1.4	D32	70	0.013	0.141	0.177	0.189	0.125	0.197
30m	1.7	D32	75	0.012	0.118	0.163	0.183	0.111	0.191
40m	2.0	D32	75	0.008	0.104	0.146	0.162	0.092	0.170
50m	2.4	D32	75	0.008	0.104	0.142	0.179	0.105	0.180

表-2 複合ラーメン橋において設計した断面とその時の設計水平震度

橋脚高さ	長さ H	使用鉄筋	鉄筋本数	鉄筋比	レベル 1	レベル 1 限界	タイプ I レベル 2	タイプ II レベル 2	レベル 2 限界
20m	1.8	D32	82	0.012	0.200	0.524	0.319	0.682	0.707
30m	2.4	D32	82	0.009	0.200	0.475	0.341	0.662	0.668
40m	2.0	D35	78	0.012	0.174	0.354	0.433	0.405	0.455
50m	2.2	D35	78	0.011	0.148	0.327	0.388	0.303	0.411

で解析を行った。これは 1 本の橋脚とそれが支持する上部構造部分を取り出した単柱式橋脚モデルで、橋梁全体系における橋脚の力学性状を再現できると考えられるからである。

免震支承には、鉛プラグ入り積層ゴム支承を用いた。免震支承は、鋼 2 主桁であることから 1 つの橋脚に 2 個設置するものとした。レベル 1 地震動の場合には、設計変位を総ゴム厚の 20% 程度とし、橋の減衰定数に基づく設計水平震度の低減は行わず、固有周期から対応する設計水平震度を導いた。レベル 2 地震動の場合には、設計変位を総ゴム厚の 200% 程度とし、固有周期から対応する設計水平震度を導いた後、橋の減衰定数及び橋脚の構造物特性補正係数による設計水平震度の低減を行った。

次に、レベル 1、レベル 2 地震動に対して設定した限界状態に達する橋脚断面を設計する。つまり、プッシュオーバー解析において橋脚頂部に水平方向地震動を作用させ、橋脚基部のひずみがレベル 1 地震動の限界状態、あるいは、レベル 2 地震動の限界状態に達するときの地震力に対応する震度をそれぞれの限界震度として求める。この限界震度ができるだけ上述の設計水平震度に近づくような、最適な橋脚断面を繰り返し計算によって決定する。

b) 複合ラーメン橋の場合

複合ラーメン橋を設計する場合には、橋脚断面を仮定し、降伏剛性を用いて固有周期を導き、対応する設計水平震度の標準値を決定する。その後、プッシュオーバー解析により橋脚の降伏変位、終局変位を求め、塑性率を算出する。塑性率から構造物特性補正係数を算出し、設計水平震度の標準値から低減を行う。これより、複合ラーメン橋に対するレベル 1 地震動、レベル 2 地震動の設計水平震度が求まる。一方、レベル 1、レベル 2 地震動に対して設定した限界状態に達する橋脚断面を設計する方法は免震支承を有する橋脚の場合と同様である。

なお、複合ラーメン橋の場合、上部構造と橋脚の剛結部には剛域を設けてモデル化している。

4. 解析結果及び考察

以上のような方法で決定した橋脚断面の設計結果を表-1、表-2 に示す。最初に表における項目の説明を行う。鉄筋本数は引張鉄筋と圧縮鉄筋を同量配置しているのでそれぞれの本数、レベル 1 はレベル 1 地震動、レベル 1 限界はレベル 1 限界震度、タイプ I レベル 2 はタイプ I のレベル 2 地震動、タイプ II レベル 2 はタイプ II のレベル 2 地震動、レベル 2 限界はレベル 2 限界震度を示している。

(1) 連続桁橋と複合ラーメン橋の断面の比較

表-1、表-2 において、連続桁橋と複合ラーメン橋の橋脚断面の比較を行う。橋脚高さ 20m、30m の場合には、高さ H と鉄筋本数に着目すると、どちらの橋脚高さにおいても連続桁橋の方が小さいという結果となった。これより橋脚高さ 20m、30m の場合には連続桁橋の方が複合ラー

メン橋より橋脚における経済性の点で有利であるということが言える。橋脚高さ 40m の場合で高さ H に着目すると同じ値となっている。そこで鉄筋の総面積に着目すると、若干ではあるが、複合ラーメン橋の方が大きい結果となった。これより橋脚高さ 40m の場合には連続桁橋も複合ラーメン橋もほぼ同じ橋脚断面で設計できるということが言える。橋脚高さ 50m の場合には、高さ H に着目すると初めて複合ラーメン橋の方が小さいという結果になったが、鉄筋の総面積においてはそれ程大きな差は見られない。これらの結果より、全体として、免震支承を有する連続桁橋の方が複合ラーメン橋より橋脚における経済性の点で有利であると言える。

(2) 複合ラーメン橋の橋脚断面に関する考察

今回の解析より、複合ラーメン橋において、高さ H を大きくすると固有周期が短くなるということがわかった。つまり、高さ H を大きくすることにより、橋脚の耐力は増加するが、固有周期が短くなるため、設計水平震度が大きくなり、橋脚にかかる力が大きくなる。一方で、高さ H を小さくすると、橋脚の耐力は減少するが、固有周期が長くなるため、設計水平震度が小さくなり橋脚にかかる力は小さくなる。

表-2 の複合ラーメン橋の結果を見ると、橋脚高さ 40m、50m の時の高さ H が 30m のものと比べて小さくなっていることがわかる。これは複合ラーメン橋において、橋脚が高くなると、橋脚の剛性を小さくした方が有利であることを意味する。

5. まとめ

本研究では、同じ上部構造諸元をもつ免震支承を有する連続桁橋と複合ラーメン橋を対象とし、RC 橋脚の基本的な耐震性能の限界状態に対して、どちらの橋梁形式が有利であるのかについて基礎的検討を行った。その結果、ここで検討した範囲では、複合ラーメン橋よりも、免震支承を有する連続桁橋の方が、RC 橋脚の構造的諸元の観点からは有利な結果となった。今後、さらに橋脚高さが高い場合、あるいは、地盤条件が異なる場合について検討を行う予定である。

なお、本研究の一部は、鋼橋技術研究会鋼コンクリート複合構造研究部会の活動の一環として行っている。関係各位に種々の有益なご助言をいただいたことを付記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 「新しい鋼橋の設計」編集委員会：新しい鋼橋の設計、山海堂、2002.12.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (V 耐震設計編)、丸善、2002.3.