

UC-win/FRAME(3D)は、2005年にVer.1.05～Ver.1.07、2006年にVer.2.00をリリースし、設計実務で求められる機能を中心に改良、拡張を重ねています。また、当社の「UC-win/FRAME(3D)解析支援サービス」による設計実モデルへの適用事例も多くの実績が挙がってきています。ここでは、これらの適用事例やその効果について月刊誌「橋梁と都市プロジェクト」(橋梁編纂委員会刊)に連載された「～土木構造物における3次元解析、動的解析、非線形解析など解析技術適用の事例とその効果～」(第11回～第13回)の図表抜粋を最新解析事例3として紹介いたします。

第11回 多径間ラーメン構造の鉄道高架橋の耐震性能評価への適用事例評価への適用事例

記事概要抜粋

1. 解析モデルと解析手法

図1、2に示すような、地中梁を有する1層4径間の、鉄筋コンクリート製の鉄道高架橋である。基礎形式は杭基礎、隣接高架区間とは単純桁を介して接続している。線路軸方向の1径間は8.6m、線路軸直角方向の柱間隔は5.6m、柱高さは5.9m(中間部)である。断面は850mm×850mmで、軸方向鉄筋にはSD345のD32が30本使用されている。

レベル1地震動に対し、いずれの部材も許容応力度に収まるよう設計されている。また、せん断補強筋は十分に配筋されていることとし、いずれの部材も、斜めひび割れによるせん断破壊は生じないものとする。柱はファイバー要素でモデル化する。地震動について、1995年の兵庫県南部地震において震度7の記録を用い、線路軸方向にEW成分、線路軸直角方向にNS成分を入力する。

2. 耐震性能の評価

動的解析の結果より得られたコンクリートの最大ひずみ状態を図4(a)に示す。断面コア部分にまで、終局に達する箇所が見られ、最外縁かぶりコンクリートの圧縮ひずみは11941.1 μ に達する。さらに、地震終了後のコンクリートのひずみ状態を図4(b)に示す。大きな曲げを受ける柱端部にひび割れが生じている状態でもあるものの、大きな圧縮ひずみは残留していない。以上の結果を見る限り、地震終了時に大きなひずみは残留していないものの、断面コア部分が終局状態に達し、さらにかぶり部分で1%を超えるひずみが発生しており、かぶりコンクリートの剥落が生じている可能性が高い。よって、倒壊にいたる損傷ではないものの、余震に対する安全性に大きく不安が残る。また、かぶりコンクリートの剥落が生じるのであれば、補修・補強も大掛かりなものになる可能性が高い。よって、本解析結果から判断すると、必要な耐震性能を満たしているとは考えにくい。

同図(c)に1番柱の基部での軸方向力の時刻歴応答を示す。死荷重の圧縮軸力は1425kN、であるので、約±300%程度の非常に大きな軸力変動となっている。

同図(d)に、1番の基部での曲げモーメントと曲率の履歴図(線路軸周りに)を示す。死荷重作用状態から定めた終局点を正負両側とも大きく超える状態である。同図(a)のひずみ分布に比べ、損傷の程度を直感的に判断することは難しい。さらに、正側の領域で最大曲げモーメントが死荷重作用状態から定めたM- ϕ 曲線よりかなり小さくなっている。これは、断面特性が地震による応答によって大きく変化したもので、軸力変動や2軸曲げの作用によって、地震中は死荷重作用時の断面特性とは異なることを意味すると考えられる。

3. まとめ

応答ひずみの最大値と、地震終了時の残留ひずみに着目することで、地震時の安全性だけでなく、余震に対する安全性と復旧性を視野に入れた性能評価ができる可能性を示した。この時、曲率などの応答指標に比べ、応答ひずみなどの指標を用いた方が、断面に生じている損傷の状態が直感的にわかりやすいと考える。残留ひび割れの有無、かぶりコンクリートの剥離・剥落の状況まで把握でき、地震時の損傷状態を詳しく、また直感的に評価できる利点がある。さらに、軸力変動や2軸曲げが大きく作用し、死荷重作用時の断面特性と、地震中の断面特性(たとえば、曲げモーメント-曲率の特性)が大きく乖離するような状態においても、応答ひずみによる評価を用いれば、適切に損傷状態や耐震性能の評価が可能である。

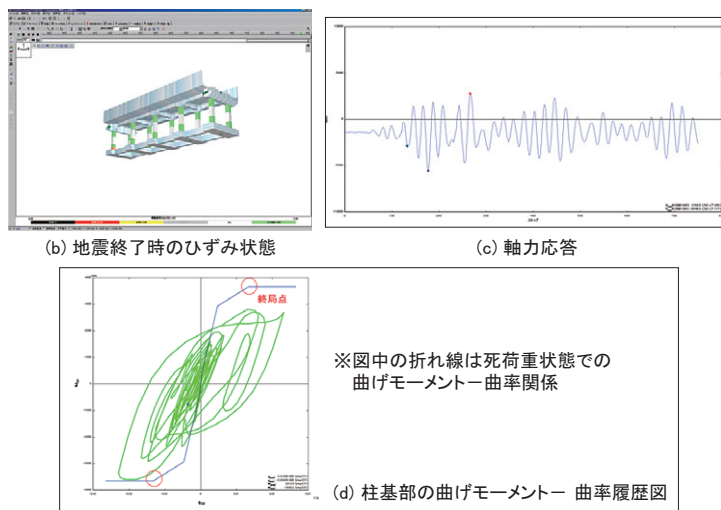


図4 2方向地震入力時の結果

第12回 非線形動的解析を活用した既設橋梁の補強検討への適用

記事概要抜粋

1. 解析モデルと解析手法

図1、2に示す、支間長39.5mの3径間単純桁橋を対象とする。なお、レベル1地震動に対し、柱に生じる応力は許容応力度以内に収まるよう、断面が決定されている。両端は橋台、橋脚は可動・固定(ピン構造)の鋼製支承により桁が支持される掛け違い橋脚である。

橋脚は鉄筋コンクリート製で断面寸法は5m×2.2m、橋脚高さ(フーチング上面から橋脚天端まで)は10.0mで、両橋脚とも同一形状である。桁高は2.5m、上部構造の質量はいずれの区間も610tである。また、図の右側(A2)橋台は橋軸方向に対しても固定支承の条件のため、強固な橋台により橋軸方向の移動はほとんど拘束されることになり、掛違い部で橋端同士が衝突する可能性が高くなる。

今回は、橋脚の柱部については、M- ϕ 関係により曲げ剛性のみを非線形性を考慮したモデルとする。履歴特性には、Takedaモデル($\alpha=0.4$)を適用する(図3a)。支承(可動方向はのぞく)、その破壊耐力に達すると以降は全くせん断力を伝達しないばね特性とする(図3b)。また、全体系モデルでは、桁と桁の衝突を考慮する(図3c)。道示VIに示されているⅢ種地盤用のタイプ2地震動波形(Ⅱ-Ⅲ-1)を、補正せずに、橋軸方向に与える。

2. 耐震性能の評価

1) 既設橋(現況)の耐震性能の評価

a. 1基下部構造による評価

単純桁を支持する橋であるので、1基下部構造モデルにより検討を実施する。すなわち、隣同士の区間は完全に独立した挙動を示すと仮定するもので、桁衝突の影響は考慮されない。地震時の挙動を簡略化した扱いといえる。

図4に解析結果を示す。橋軸方向加振時の慣性力作用位置の最大応答変位は242.6mmに達し、橋脚基部は終局状態を大きく超える(同図4a左、b左)。支承に作用するせん断力(同図4c左)は、固定支承(1支線統計)に約3600kNの最大せん断力が発生する。支承(1支線統計)の水平耐力を4000kNと仮定しており、本Caseでは、支承は破壊しない結果となる。

b. 桁間衝突を考慮した場合

桁と桁の間には100mmの遊間があるが、橋脚の変形が過大になれば桁と桁が衝突する可能性がある。また、衝突が発生すると、隣の桁の慣性力も桁・支承を介して橋脚にも作用するため、隣接する橋脚の挙動を互いに独立と仮定することができなくなる。よって、本Caseは、全体系モデルにより検討を実施する。桁と桁が開く方向には、移動制限や抵抗は無視する。また、橋台と桁の衝突、可動支承の摩擦についても、今回は無視する。

橋軸方向加振時の、各橋脚の慣性力作用位置の最大応答変位は、206.0mm(P1橋脚)、128.8mm(P2橋脚)に達しており、P1橋脚基部のみ終局状態を超える(図4a右)。同図c右に、P1橋脚の支承(1支線統計)に作用するせん断力の時刻歴応答を示す。橋軸方向加振時には、途中から作用せん断力が0となっており、支承(固定側)が破壊したことを表している。これは、P2橋脚上の支承(固定側)も同様である。すなわち、桁の衝突力が支承の破壊をもたらしている。

2) RC充てて補強した場合の耐震性能評価

図5に解析結果を示す。橋軸方向加振時の慣性力作用位置の最大応答変位は24.5mmで、橋脚基部は降伏せず、道示Vの求める許容値に十分余裕のある結果となっている(同図a、b)。支承に作用するせん断力(同図c)をみると、途中から作用せん断力が0となっており、支承(固定側)が破壊したことを表している。さらに、桁が大きく移動し、桁掛かり長を超えている。すなわち、支承の破壊と桁と桁の衝突が、落橋させるほどの過大な桁の移動をもたらしている。

3. まとめ

3つの単純桁が隣接する既設橋を対象に、現況の状態、ならびに補強が、レベル2地震時の橋の機能性に与える影響に着目した。この時、桁と桁の衝突を考慮しない解析(=1基下部構造モデル)と、それを考慮した解析(=全体系モデル)を実施した。その結果、過度な耐力向上を目的とした橋脚の補強や、桁の衝突が生じうる状態では、橋脚の損傷が小さくても支承の破壊を先行させ、橋の機能を損失する可能性があるとともに、短期間で復旧が難しくなる損傷となる可能性がある。橋の機能性を損なわないためには、支承の破壊を防ぐことも重要である。また、桁と桁の衝突が生じる可能性がある場合は、単純桁構造の橋でも、隣接する径間が独立した振動系として扱えないため、全体系モデルによる解析が必要である。

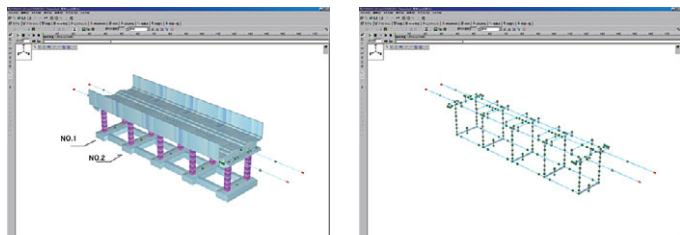


図1 モデル図(■:ファイバー要素)

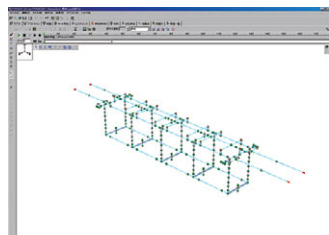
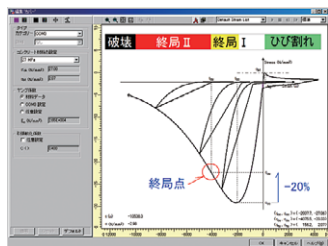
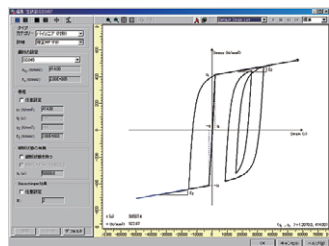


図2 骨組み図

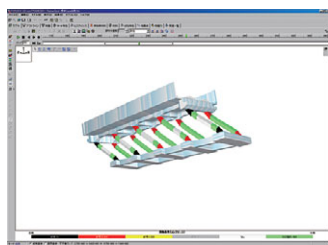


(a) コンクリート

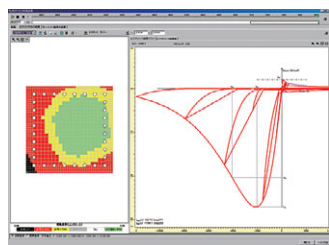


(b) 鉄筋

図3 応力ひずみ曲線



(a) 最大ひずみによるひずみ状態と変形(最大変位時)
(■: $\epsilon'_{cu} \geq \epsilon'_{cu}$, ●: $\epsilon'_{cu} \geq \epsilon'_{cu}$, ▲: $\epsilon'_{cu} \geq \epsilon'_{cu}$)



第13回 プレストレストコンクリート上部構造をもつ ラーメン橋への3次元動的非線形解析の適用

記事概
要抜粋

1. 解析モデルと解析手法

図1に示す、3径間の直線ラーメン橋を対象とする。上部構造はプレストレストコンクリート構造、下部構造は鉄筋コンクリート構造である。上部構造の両端は、可動支承を介し橋台で支持されている。支間は47.4m+72.0m+47.4m、橋脚の高さは28mである。断面は4000mm×6000mm、軸方向鉄筋にはD38(SD345)が228本使用されている。なお、地震時保有水平耐力法により、橋脚の諸元を決定している。上部構造および橋脚は全域にわたってファイバー要素を適用し、ひび割れや鉄筋降伏などの材料非線形性を考慮する。橋脚の耐力が上部構造の応答に与える影響を検討するために、橋脚の主鉄筋をD38からD51、あるいはD32に変更した場合と比較する。

地震動は、1995年の兵庫県南部地震において震度6強を観測した地点の、地上における観測波形を用いる。このNS成分を橋軸方向に、EW成分を直角方向に、同時に入力する。鉛直地震動は無視する。

2. 解析結果

1) 橋脚基部の応答

死荷重時の作用軸力から求めた曲げ耐力 M_u は、主鉄筋がD38の場合を標準とすると、主鉄筋をD51に変更すると約1.5倍、主鉄筋をD32に変更すると約0.8倍になる。許容曲率については、逆に、D51に変更すると約0.8倍、D32に変更すると約1.2倍となる。

また、橋脚の耐力の増加とともに、橋脚基部に生じる応答曲率が減少することが確認できる。図3に、橋脚基部断面に生じたコンクリートの最大圧縮ひずみの分布を示す。橋脚の主鉄筋を大きくするほど、大きな圧縮ひずみが生じる箇所(■)が減少している。すなわち、橋脚の主鉄筋を大きくし橋脚の耐力を向上させると、それと同時に、地震時に橋脚に生じる損傷レベルを小さくできることが、改めて確認できたものである。

2) 上部構造の応答

橋脚の耐力の増加とともに、上部構造に生じる応答曲率が增大することが確認される。図4に、上部構造断面に生じたコンクリートの最大圧縮ひずみの分布を示す。橋脚の主鉄筋を大きくするほど、大きな圧縮ひずみが発生する領域(■)が拡大している。すなわち、橋脚の主鉄筋を大きくし橋脚の耐力を向上させると、より大きな荷重が上部構造に伝達され、地震時に上部構造に生じる損傷レベルが大きくなってしまおうことを意味している。

3. まとめ

不静定構造では、上部構造の損傷レベルが、下部構造の耐力に大きく依存することが改めて確認できた。耐力のバランスを考えずに、橋脚の耐力を上げすぎると、上部構造の損傷を極力抑えるような設計が困難になるだけでなく、想定以上の損傷が生じることになる。不静定構造の場合は、下部構造の耐力を過度に期待しないような設計とすることが、合理的と思われる。

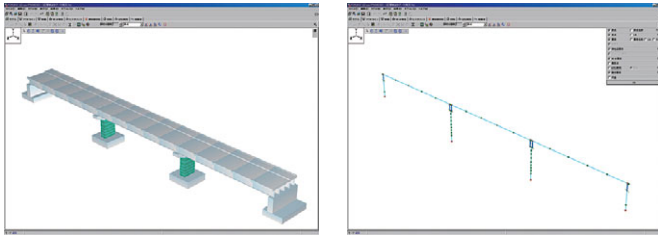
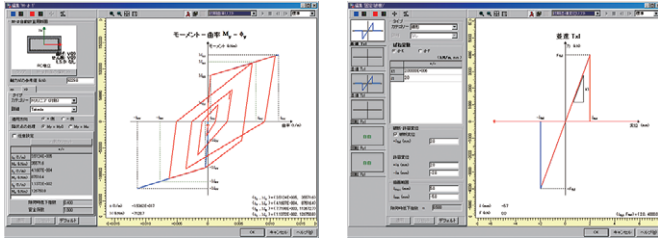


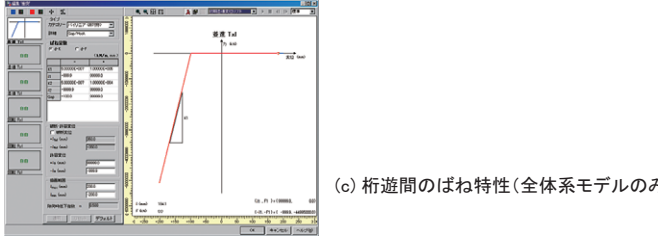
図1 モデル図

図2 骨組み図



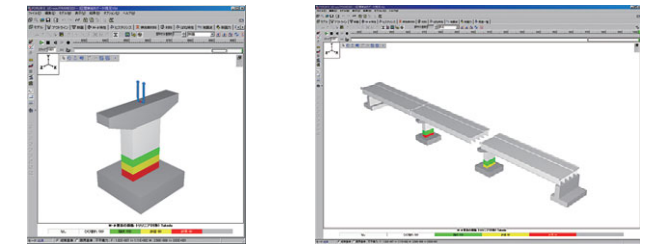
(a) 橋脚柱部のM-φ関係と履歴モデル

(b) 支承のばね特性(固定方向)



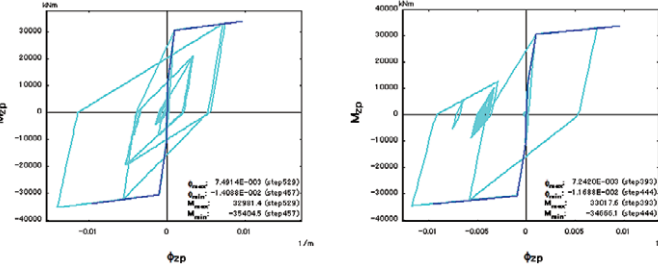
(c) 桁間部のばね特性(全体系モデルのみ)

図3 解析に用いる非線形特性

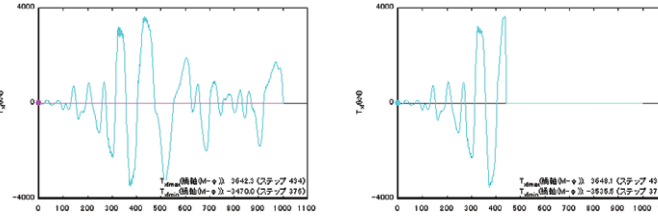


(a) 曲率による損傷判定

(■) $\phi \geq \phi_u$, (■) $\phi_u > \phi \geq \phi_a$, (■) $\phi_a > \phi \geq \phi_{y0}$

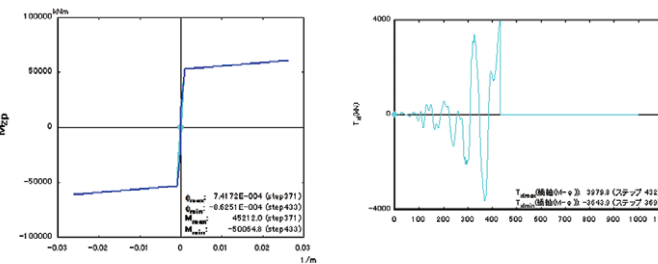


(b) 柱基部の曲げモーメント-曲率履歴



(c) 支承に作用するせん断力の時刻歴応答(1支承線上、P1橋脚)

図4 現況の照査(橋軸方向、左図:1基下部構造、右図:全体系)[タイプ2地震動(II-III-1)]



(a) 柱基部の曲げモーメント-曲率履歴 (P1橋脚)

(b) 支承に作用するせん断力

図5 RC巻き立て補強を施した場合の照査[タイプ2地震動(II-III-1)、橋軸方向のみ]

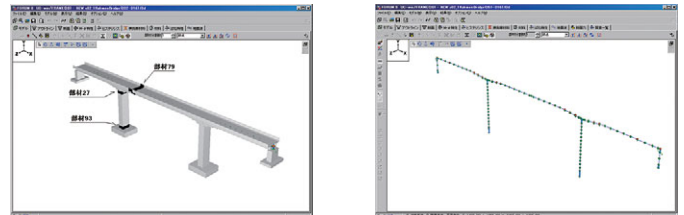
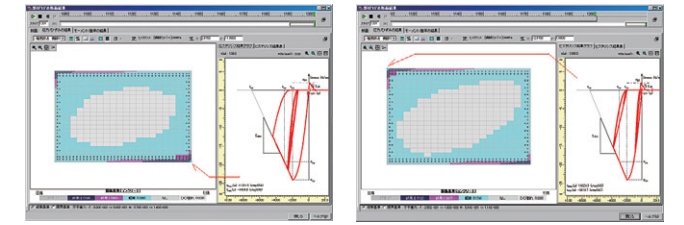


図1 モデル図

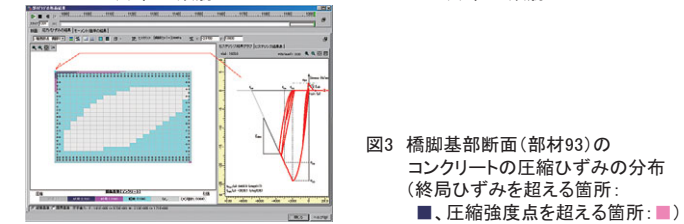
図2 骨組み図



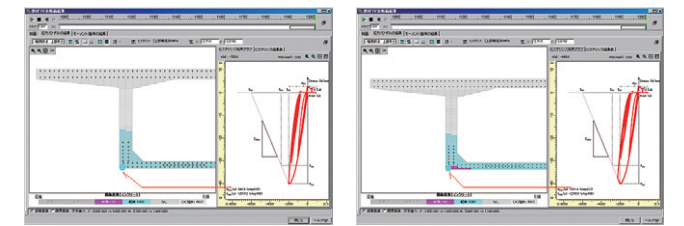
(a) 柱主鉄筋D32

(b) 柱主鉄筋D38

図3 橋脚基部断面(部材93)のコンクリートの圧縮ひずみの分布(終局ひずみを超える箇所: ■、圧縮強度点を超える箇所: ■)



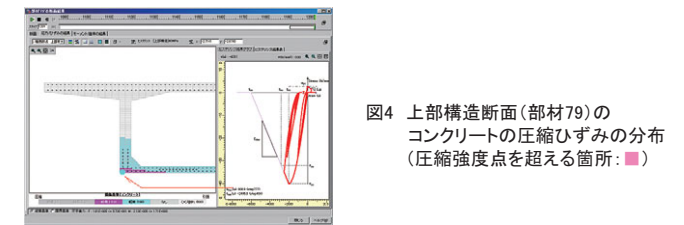
(c) 柱主鉄筋D51



(a) 柱主鉄筋D32

(b) 柱主鉄筋D38

図4 上部構造断面(部材79)のコンクリートの圧縮ひずみの分布(圧縮強度点を超える箇所: ■)



(c) 柱主鉄筋D51