



高速道路の大規模地震応答シミュレーション —道路ネットワークレベルの包括的性能評価—

研究・開発機関 : 阪神高速道路株式会社
 利用施設 : スーパーコンピュータ「京」
 計算規模 : 1056ノード
 利用ソフトウェア : SeanFEM、SeanSGM

Before

- 橋の耐震設計には、一定長さの橋梁単位で解析を行い、基準等で与えられた少数の地震動に対する安全性を確保していました。
- 長大橋など特殊で多くの部材、部品からなる構造物に対しては、計算可能なレベルで現実的な挙動評価のできる置換モデルで解析を行っていました。

After

- 地震後の交通機能の確保や想定外の地震に対する安全性までも包括的に評価するため、道路ネットワークレベルの大規模解析の実現可能性を確認しました。
- 長大橋などで用いられる部材、部品を忠実かつ詳細にモデル化することにより、設計を上回る想定外の地震による橋の損傷状態を再現することが可能となりました。

背景と目的

1995年の兵庫県南部地震では、阪神高速道路は建設当時の耐震設計基準を満たしていたにもかかわらず、設計上の想定を超える地震動により甚大な被害を受けました(写真1)。2011年の東北地方太平洋沖地震や2016年の熊本地震においても、設計上の想定を超える事象が発生し、数多くの構造物が甚大な被害を受けました。

今後も設計で設定される地震と異なる想定外地震の発生も予想され、様々な破壊パターンの地震動シミュレーションにより被害程度を想定しておくことが重要です。

また、阪神高速道路のような広域道路ネットワークの地震後も含めた防災・減災対策を検討するにあたっては、設計実務で用いられている橋梁単位の地震応答解析のみならず、広域の地震応答シミュレーションを行うことも有効と考えられます。これは、橋の被害は橋の境界部や橋脚形式の変化点等で生じる場合があり、連続する橋梁の弱点部を明確にすることが望まれるからです。

このため、大規模な地震応答シミュレーションを有効なソリューションとして位置づけ、2014年より、京コンピュータを用いた基礎研究として、延長30kmの連続高架橋を対象とした解析や、1995年兵庫県南部地震で被害を受けた東神戸大橋の損傷過程の再現解析を実施してきています。



写真1 兵庫県南部地震による阪神高速道路の被害

利用成果

阪神高速湾岸線約30kmを対象とした地震応答シミュレーション:

上町断層系の破壊に伴う加速度の伝播状況と構造物の応答変位を図1左に示します。上町断層北部に設定した破壊開始点から南方向に地震動が伝播し、地震動の伝播に伴い橋梁の応答変位が増大している状況が俯瞰的かつ動的に確認できました。このほか、湾岸線の橋脚天端の最大応答加速度分布や橋脚天端の最大応答変位分布を明らかにすることができました(図1右)。さらに支承(主桁・主構と橋台や橋脚の間に設置する部材)の最大水平反力や、あるルールを仮定した場合の支承の破壊に伴う道路の継ぎ目である伸縮継手部に発生する段差量の分布も示すことができました。

今後、橋脚の非線形性などのモデル高度化などを考慮して正確な応答評価を目指します。

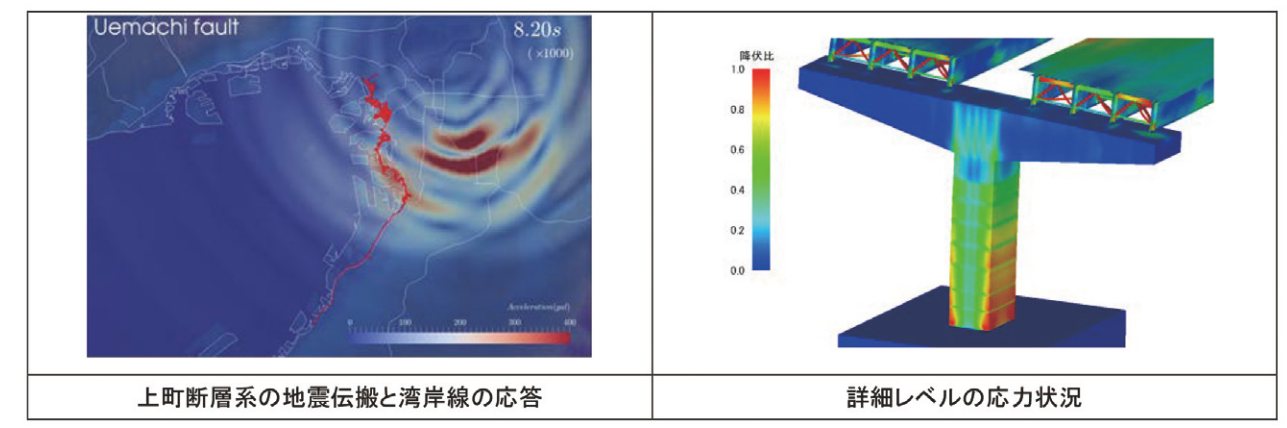


図1 地震応答シミュレーション実行例

長大橋の被災解析:

長大橋の端部では様々な機能の装置や部品が設置され、設計地震に対しては壊れない設計がなされており、その損傷過程は明らかではありませんでした。兵庫県南部地震の地震記録データを、装置・部品まで忠実に表現した東神戸大橋の詳細モデルに入力することにより、想定外の地震による損傷過程を明らかにすることができました。具体的には、ウインド支承(橋直角方向の固定部品)の破壊に続いて、ペンデル支承(橋端部の浮き上がり防止の部品)のピンプレートが開き再現され、ピンが脱落することで橋桁を下に引っ張る機能が失われました。このように、橋桁端部が浮き上がる実現象を概ね再現することができました。

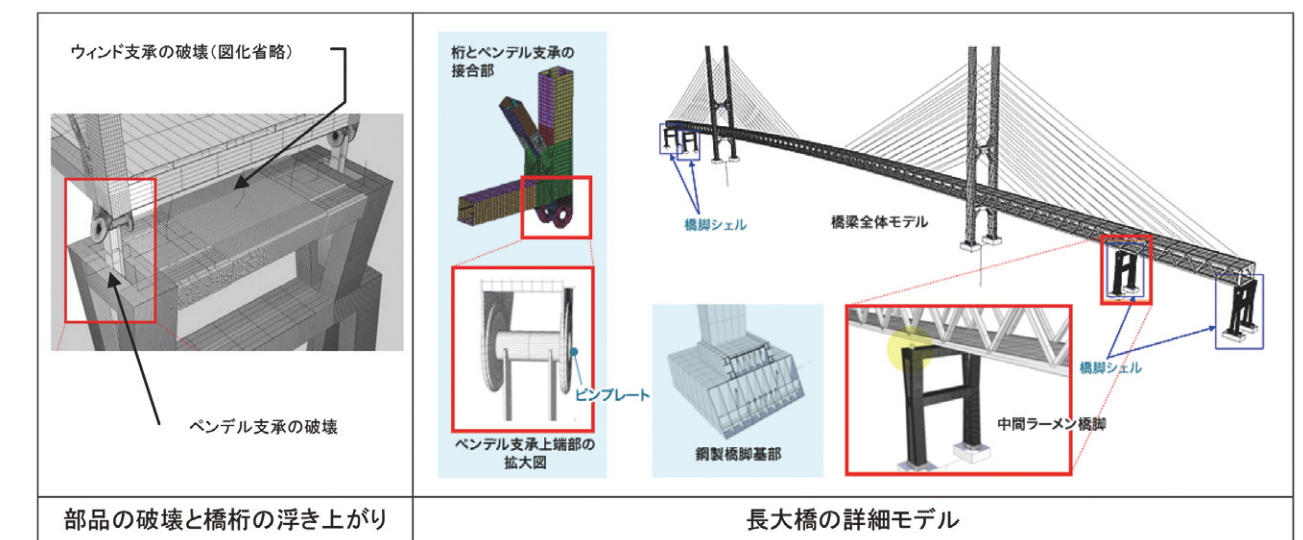


図2 長大橋の被災解析実行例