

I - B 491

連続ラーメン橋の減衰性状とエネルギーに関する研究

北海道大学大学院工学研究科博士後期課程 正会員 松井義孝
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 林川俊郎
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 佐藤浩一
 北見工業大学 土木開発工学科 フェロー 大島俊之
 開発工営社 正会員 青地知也

1. はじめに

最近の耐震設計は、非線形領域特性を考慮した弾塑性（非線形）解析に移行している。構造部材がそれらの領域に入っても適切なねばり（じん性）を持たせ、エネルギー吸収性能を高めることにより損傷を限定した範囲内にとどめ、同時に構造系全体としての崩壊を防ぐことを目的とした設計法である。本研究では、塑性領域についてエネルギー吸収性能の評価として減衰性状に着目し、ここに検討結果を報告する。

2. 解析モデル

本モデルは、図-1に示す3径間連続ラーメン橋であり、側径間45m中央径間85m橋脚高30mとなっている。橋脚部は非線形要素としてトリリニア型（武田式）のM- ϕ 履歴曲線を用いている。解析に用いた入力地震波は、日本道路協会発行の温根沼大橋の振幅調整波であり、最大振幅364.85Gal、継続時間60秒を設計基盤面より入力した。

3. 解析方法

本解析は、非線形有限要素解析により、骨組構造部材の塑性化が構造全体の減衰に与える影響を検討するとともに、塑性ヒンジ法を用いることによって塑性ヒンジの増加に伴う固有振動数、減衰定数の変化の影響、さらにエネルギー吸収性能について検討している。これらは、応答解析により部材が塑性後、自由振動をさせた応答加速度の結果から塑性後の減衰定数を求める方法や、応答解析データで算出される各消費エネルギーの比率についてエネルギー吸収性能から減衰性状について考察する。

4. 解析結果

4.1 塑性ヒンジによる固有振動数と減衰定数の変化

本モデルのようなラーメン橋は、強い地震動において橋脚柱の上下端に塑性ヒンジが発生する事は周知の通りである。本解析でも P_1 , P_2 とともに同時に21.36sec(下端部)、26.90sec(上端部)の時間領域において橋脚の鉄筋の降伏に伴う塑性ヒンジの発生を確認している。図-2に示す解析結果は、塑性ヒンジが生じるにつれ各次数

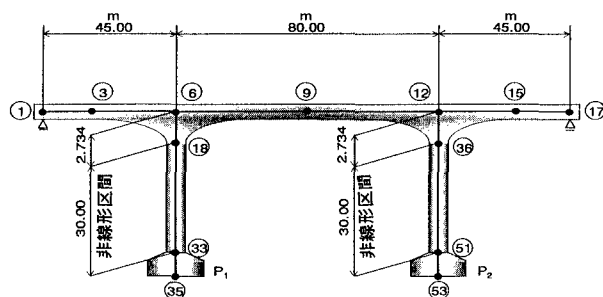


図-1 解析モデル図

表-1 解析諸元

ヤング係数	t/m ²	上部	3.10×10 ⁸
		下部	2.50×10 ⁸
断面積	m ²	上部	8.62~15.69
		下部	19.98
剛度	m ⁴	上部	7.63~49.14
		下部	39.55

キーワード：耐震設計、非線形解析、固有振動数、減衰、塑性ヒンジ、応答エネルギー

〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目北海道大学大学院工学研究科 TEL: (011) 706-6170 FAX: (011) 726-2296

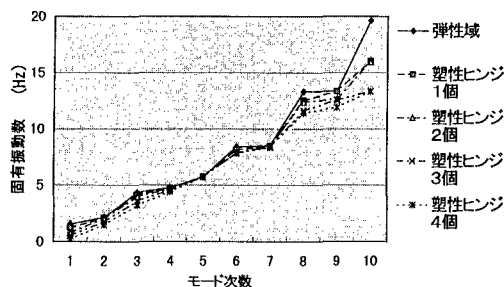


図-2 塑性ヒンジによる固有振動数の変化

ともに振動数は小さくなる。これは、塑性化した部材の剛性が小さくなったために、構造全体が長周期化したためである。減衰定数との関係を見ると塑性ヒンジが増加すると第1次モードの減衰定数が大きくなっている。これは、橋脚の上下端すべてが塑性ヒンジとなる塑性ヒンジ4個のケースに顕著に見られた。

4.2 応答解析結果による減衰性状とエネルギー評価

図-3より橋脚上端（節点18）の応答加速度波形を用いて減衰定数を求める事を試みた²⁾。

まず、履歴減衰効果が十分得られるように、塑性ヒンジ発生直後ではなく塑性ヒンジ部に最大応答加速度が発生する時間（ $T=30.71\text{sec}$ ）まで地震波を入力し大きな非線形要素の履歴ループが得られる事を確認している。その後は入力地震動を0にし、減衰自由振動をさせる。この時得られた応答加速度波形の振幅とサイクル数との関係から対数減衰率 δ を求めるものである。

$$\delta = \frac{1}{4} \ln \frac{8.884}{0.308} = 0.840 \quad h = \frac{0.840}{2\pi} = 0.134$$

以上の解析から、13.4%の減衰定数を得た。これは、道路橋示方書V（P75）の非線形領域に示されているコンクリート構造の等価減衰定数の参考値¹⁾12～20%の範囲にある事を確認した。

入力エネルギー、運動エネルギー、粘性減衰エネルギー及び履歴減衰エネルギーの時刻歴応答値を図-4に示す。この図に示すように、入力エネルギーは、橋脚に塑性ヒンジが発生した時間（橋脚下端部 21.36sec、橋脚上端部 26.90sec）付近において、各エネルギーと共に急激に増加している。これは橋脚部材が塑性化し、変位が大きく生じたことによりエネルギーが増大し、その後は塑性化によってエネルギーが解放されたため、各エネルギーの値は一定の値になっている。これらのことから構造の塑性化の影響がエネルギー量の変化による減衰の関わりを確認できた。

5. まとめ

構造部材の非線形領域における構造系全体の減衰（エネルギー吸収性能）の変化をとらえるため、構造系全体の解析を行い減衰定数の変化や応答エネルギーの評価などについて検討した。線形解析では、粘性減衰が構造全体に与える影響が大きい。しかし非線形解析の場合、むしろ履歴減衰の評価法に留意すべきである。それは、図-4に示めす各エネルギー分担をみると履歴減衰の影響が65%程度示めている事からもうかがわれる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書V（平成8年）
- 2) 橋梁振動研究会：橋梁振動の計測と解析 技報堂出版
- 3) 矢部・川島：地震時保有水平耐力法を用いるRC橋脚の履歴特性を非線形梁要素まで表現するためのモデル化の提案，第52回年次学術講演会 I-B145 pp. 290～pp. 291

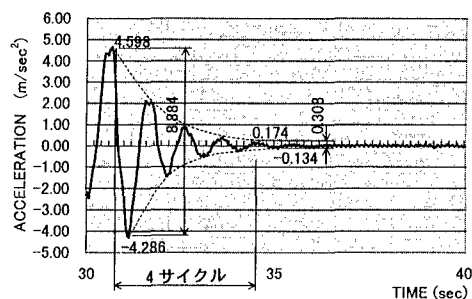


図-3 節点18（橋脚上端部）の自由振動

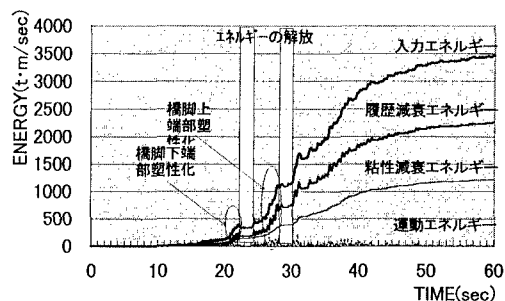


図-4 各エネルギー量の分担