

鹿島技術研究所 正会員 山野辺慎一
 同 上 正会員 竹田 哲夫
 同 上 正会員 一宮 利通

1 はじめに

プレストレストコンクリート(PC)斜張橋は、現在、弾性解析に基づいて設計されているが、大規模地震時には大部分の部材の挙動が塑性域に達するので、こうした高次の不静定構造物をより合理的に設計するためには、部材の弾塑性挙動を考慮して耐震設計をする必要があると思われる。

本研究は、PC斜張橋の弾塑性地震応答解析を行い、構造物全体の安全性に及ぼす部材破壊の影響度の観点から部材の重要度を検討するとともに、部材重要度と部材安全度のバランスについて考察したものである。

2 解析の概要

図-1に示したフローチングタイプと剛結タイプの二つのモデルを道路橋示方書に従って試設計し、解析対象とした。主桁・塔・斜材・橋脚などの相互作用が大きいと考えられる橋軸方向について弾塑性地震応答解析を行った。

入力地震波は、図-2に示したように道路橋示方書・耐震設計編の中で地震時保有水平耐力の照査のために規定されている加速度応答スペクトルの形状に適合する模擬地震波とし、宮城県沖地震の開北橋記録を調整して求めた。また、開北橋記録のスペクトルを平滑化したものについても、同様に入力波を求めた。後者の地震波の強さは、構造物の応答が前者と同程度となるように、解析モデルの主要なモードの固有周期域における応答スペクトルの値がほぼ同じになるような強さに増幅した。

3 地震時の部材安全度のバランス

解析結果から大規模地震時に大きく塑性化する断面は図-1に●で示したように桁の塔付近・塔中間部・塔下端・橋脚下端にほぼ限定されていたので、これらの断面について、部材安全度とそのバランスを検討した。

まず、部材安全度を断面力に着目して(断面の終局モーメント M_u)/(その断面の最大応答曲げモーメント M_{max})で定義すると、図-3に示すように、その値は1.0~1.2程度であり、バランスがよいように見える。しかし、地震による断面の損傷を考える場合は、吸収エネルギーや変形性能で評価した方がよいと考えられるので、部材安全度を断面の塑性率に着目して(じん性率 $\mu_u = \phi_u / \phi_y$)/(最大塑性率 $\mu_{max} = \phi_{max} / \phi_y$)で定義すると、部材安全度は図-4に示すように部材間の差が大きい。橋脚下端の安全度が大きい理由としては、橋脚がじん性に富んだ低鉄筋断面であることに対応すると考えられる。

4 地震に対する部材重要度の提案

PC斜張橋においては、桁の断面が破壊しヒンジが形成されても全体の振動特性はあまり変化せず斜材が健全であれば構造全体は安定している。塔基部にヒンジが形成された場合、剛結タイプでは最下段斜材が塔基部の変形を拘束しているので影響は小さいが、フローチングタイプでは塔の曲げ変形にかなり影響すると予

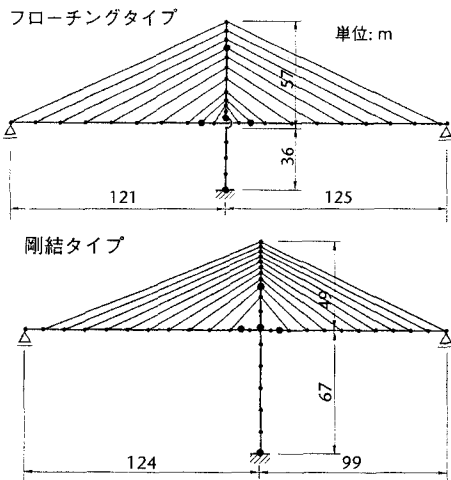


図-1 解析モデル

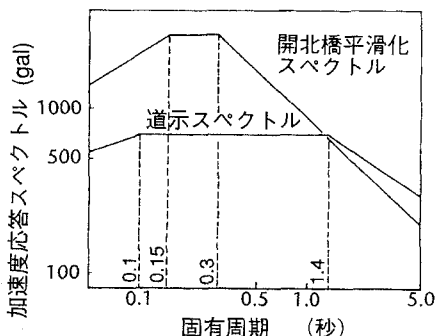


図-2 入力波の加速度応答スペクトル

想される。また、橋脚は単独で上部工を支持している、この断面の破壊は構造全体にとって致命的である。

重要度を定量化するには多くの要因を考慮する必要があるが、ここではこうした部材破壊がPC斜張橋のような不静定構造物全体としての損傷に及ぼす影響に着目した。

Cakmakらは構造物が地震被害を受けるとその剛性が低下し固有周期が増大することに着目し、最大軟化率 δ で定義される構造物損傷度指標を提案している。

$$\delta = 1 - (T_o/T_{max})$$

ここで、 T_o : 損傷していない構造物の固有周期、 T_{max} : 損傷を受けた構造物の固有周期である。

そこで、大規模地震時にクリティカルとなる断面が破壊したことを想定し、その位置にヒンジを持つモデルの固有周期から最大軟化率の変化を調べた。この場合多自由度系であるので、各次モードの振動特性の影響を、応答スペクトル法の場合と同様に、2乗和平方根で考慮することとし、次式により部材 m の重要度 ω_m を定義した。

$$\omega_m = \sqrt{\sum (\beta_{mi} \delta_{mi})^2}$$

ここで $\delta_{mi}=1-T_{oi}/T_{mi}$: i 次の最大軟化率、 T_{oi} : ヒンジのないモデルの i 次の固有周期、 T_{mi} : 部材 m にヒンジを持つモデルの i 次の固有周期、 β_{mi} : 部材 m にヒンジを持つモデルの i 次の刺激係数である。対象構造物の地震応答は1次から5次のモードの寄与が全体のほとんどを占めているので、上式で5次までを考慮した。図-5に各部材の重要度を示した。ここで、桁の重要度を1.0に基準化し、各部材の桁に対する値を示した。橋脚下端の重要度が最も大きく、その破壊が構造全体に対し最も重要であることが表現されている。また、塔中間の値と塔基部の値の大小関係が構造形式により異なっているが、これはフローチングタイプのクリティカルとなる塔中間の断面位置が剛結タイプよりも塔の上側であるため、そこにヒンジができた時の振動特性の変化が剛結タイプよりも小さいこと、また、剛結タイプの塔基部の曲げ変形は最下段斜材により拘束されていることによるものと考えられる。

これまでに部材の重要度について研究した例は少ないが、構造物損傷度指標を応用することで、部材の重要度を定量化できることがわかった。

5 部材安全度と部材重要度の比較

部材重要度と最大塑性率で定義した部材安全度の関係を図-6に示す。重要な部材ほど安全度が大きく、重要度と安全度がほぼ対応していることがわかる。構造物全体に対する部材破壊の影響度をその部材の重要度として定義し構造物損傷度指標を応用して評価すると、現行の設計法に基づいて設計されたPC斜張橋においては大規模地震に対する安全度はバランスがよくとれていると言える。

謝辞: 本研究を進めるに当たり、貴重なご助言を頂いた米国プリンストン大学篠塚正宣教授に深謝します。
参考文献: 竹田、山野辺、一宮; 地震時損傷度指標のRC橋への適用性、鹿島技術研究所年報, VOL. 39, 1991年

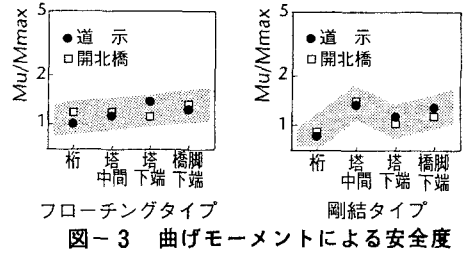


図-3 曲げモーメントによる安全度

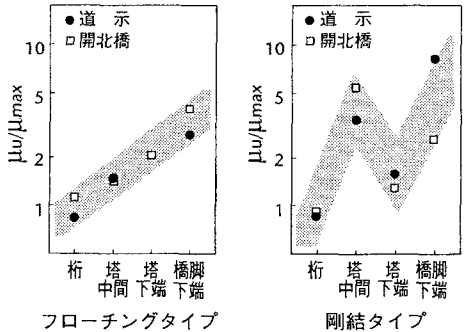


図-4 塑性率による安全度

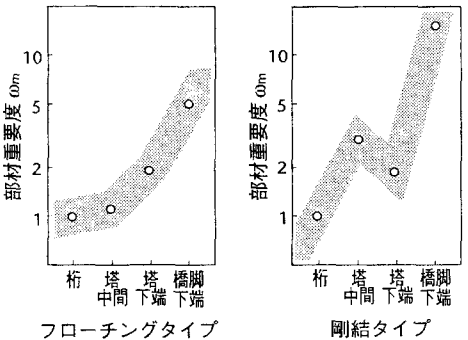


図-5 部材の重要度

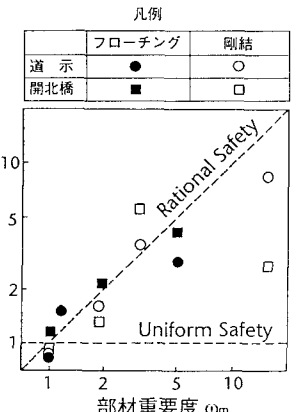


図-6 重要度と安全度の比較