

第 11 章 耐震に関する検討

11.1 耐震設計の基本方針

- (1) 耐震設計にあたっては鋼構造物の特性、地形・地質の地盤条件、既往の震災経験、鋼構造物の重要度および立地条件等を考慮し、個々の上部構造、下部構造の設計に対してのみならず鋼構造物全体が十分な耐震性を有するように配慮しなければならない。
- (2) 耐震設計は中小地震に対する震度法による照査に加えて、大地震に対してぜい性的な破壊が生じないように、地震時保有水平耐力の照査を行う。
- (3)(2)項のような手法で設計した鋼構造物のうち、地震時の挙動が複雑なものは動的解析により安全性を照査するのが望ましい。

【解 説】 (1) 中小地震に対しては、鋼構造物の損傷が生じず、まれに起こるような大地震に対しては、一般にその構造物に損傷が生じるが崩壊しないことを目標に耐震設計を行う。ただし、大地震に対しても、機能保持が要求される構造物においては、この要求が満足される範囲の損傷にとどめるように設計する必要がある。

(2) 中小地震に対しては、構造物に損傷が生じないように、震度法を用い、本指針10章までの各条項により、強度、変位の照査を行う。一方、まれにおこるような大地震に対しては、ぜい性的な破壊が生じないように地震時保有水平耐力の照査を行う。特に、鋼製橋脚においては、地震時保有水平耐力の照査は重要である。

(3) 地震時の挙動は(2)項に規定した、震度法による照査や地震時水平保有耐力の照査等の様な静的手法では、安全性を十分な精度で評価できない場合もあるので、適切な動力学モデルを用いて地震応答特性を算定し、安全性を照査するのが望ましい。

11.2 震度法による照査

- (1) 構造物の質量に起因する地震時の慣性力は設計単位ごとに、道路橋示方書V¹⁾における設計水平震度を用い、震度法にもとづき求めるものとする。
- (2)(1)項で求めた慣性力に加え、他の考慮すべき荷重を静的に構造物に作用させ、10章までの条項により構造物の安全性を照査する。さらに必要な場合は変位についても照査する。

【解 説】 (1)(2)ここで用いる設計水平震度は中小地震を対象としたもので、標準設計水平震度 $k_{h0}=0.2$ をもとに道路橋示方書Vにもとづき定められ、慣性力が算定されるが、本設計指針を適用する場合には、求められた慣性力に対して $\gamma=1.13\phi$ (ϕ :部材強度係数)の荷重係数を考慮する必要がある。ここで、1.13は道路橋示方書において、安全率を1.7とし、許容応力度の割り増しが1.5であることを考慮して、 $1.7/1.5=1.13$ より設定されるものである。

11.3 鋼製橋脚の地震時保有水平耐力の照査

11.3.1 一般

震度法により中小地震に対して耐震設計した鋼製橋脚が大地震に対しても、ぜい性的な破壊が生じないことを確かめるために地震時保有水平耐力の照査を行う。

【解 説】 中小地震に対して震度法で設計された鋼製橋脚が大地震に対してもぜい性的な破壊が生じないことを照査することを規定したもので、その基本方針は道路橋示方書^{V1)}に定められている鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査方法と同様である。

11.3.2 地震時保有水平耐力・許容塑性率

(1) 地震時保有水平耐力

地震時保有水平耐力は式(11.1)により算出する

$$P_a = P_y + \frac{P_u - P_y}{\alpha} \quad (11.1)$$

ここに、

P_a : 橋脚の地震時保有水平耐力

P_u : 橋脚の終局水平耐力

P_y : 橋脚の降伏水平耐力

α : 安全係数

(2) 許容塑性率

橋脚の許容塑性率は式(11.2)により算出する

$$\mu = 1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha \delta_y} \quad (11.2)$$

ここに、

μ : 橋脚の許容塑性率

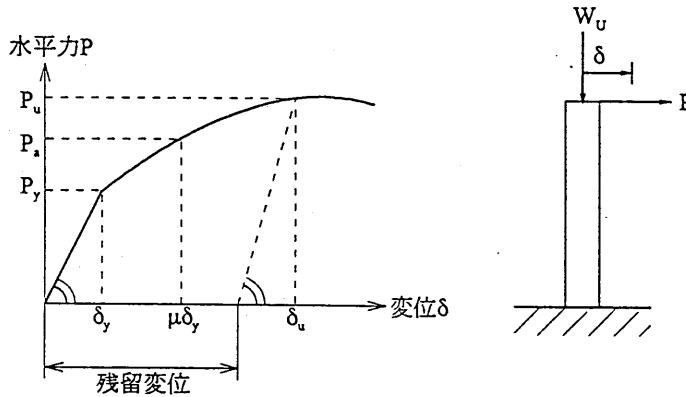
δ_u : 橋脚の終局水平変位

δ_y : 橋脚の降伏水平変位

α : 安全係数

【解 説】 (1) 橋脚の終局水平耐力 P_u をどのように定義するかは大地震時に構造物に許容される損傷と密接に関係している。特に機能保持が要求される構造物では P_u は許容される残留変形 (解説図 11.1) の大きさから決定される。安全係数 α は繰り返しによる劣化を見込んで設定すべき値である。文献^{2),3)} では鉄筋コンクリート橋脚と同じ $\alpha=1.5$ を提案している。

(2) 許容塑性率は P- δ 関係 (解説図 11.1) における地震時保有水平耐力到達時の変位 ($\delta_y + (\delta_u - \delta_y)/\alpha$) をもとに算定される。



解説図 11.1 鋼製橋脚の地震時保有水平耐力および許容塑性率

11.3.3 地震時保有水平耐力および許容塑性率の計算法

鋼製橋脚の地震時保有水平耐力および塑性率を求めるための水平荷重 P と水平変位 δ の関係は、上部構造の自重に相当する一定鉛直力 W_u と上部構造の慣性力の水平力 P を作用させ弾塑性有限変位解析で計算する。

【解 説】 自重に相当する鉛直力 W_u を作用させた状態を初期状態とし水平力 P を増加させることにより P - δ 関係を求める (解説図 11.1)。鋼製橋脚の場合、変位が大きくなり、幾何学的非線形性が無視できない可能性があるため弾塑性有限変位理論を用いる必要がある。さらに、鋼製橋脚は薄板要素より構成されているため、必要な場合にはこの薄板の局部座屈の影響をシェル要素を用いた弾塑性有限変位解析等のような直接的な手法かあるいは何らかの間接的な手法で考慮する必要がある。解析方法や具体的な材料の応力・ひずみ関係に対する提案が文献^{2), 3), 4)}に示されている。

11.3.4 地震時保有水平耐力の照査に用いる水平震度

11.3.4.1 地震時保有水平耐力の照査に用いる設計水平震度

地震時保有水平耐力の照査に用いる設計水平震度は k_{hc} は大地震を対象としたもので一般には、標準設計水平震度 $k_{ho}=1.0$ とし、道路橋示方書^{V1)}をもとに算定される。しかしながら、過去の観測において、これを超えるような水平震度が計測された地点においては必要に応じて、標準設計水平震度の割り増しを考える。

【解 説】 関東大震災のような、まれに起こる大きな地震での地盤の加速度が $0.3G \sim 0.4G$ で、橋等が構造物が弾性応答をすれば、その構造物での加速度が、おおむね $1G$ 程度になる。このことから道路橋示方書^{V1)}の保有水平耐力照査に用いる標準設計水平震度 $k_{ho}=1.0$ が定められている。しかしながら、兵庫県南部地震では、上記の地盤加速度を超える値も計測されており、必要に応じて標準設計水平震度の割り増しを考えることも規定した。

11.3.4.2 地震時保有水平耐力の照査に用いる水平震度

地震時保有水平耐力の照査に用いる等価水平震度 k_{he} は鋼製橋脚の許容塑性率 μ に応じて式 (11.3) により求めるものとする。

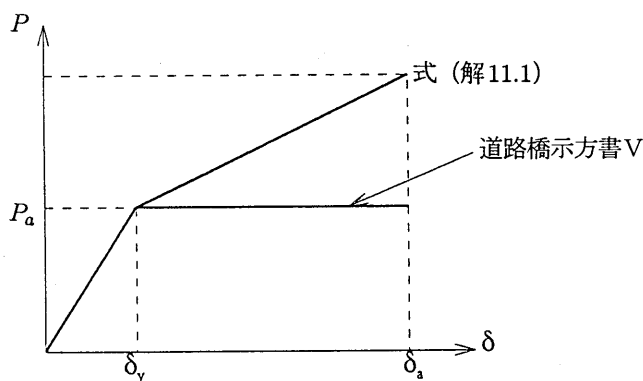
$$k_{he} = \frac{k_{hc}}{\sqrt{2\mu - 1}} \quad (11.3)$$

ここに、 k_{he} : 地震時保有水平耐力の照査に用いる等価水平震度

k_{hc} : 設計水平震度

【解 説】 Newmark のエネルギー一定則に従い、弾性応答から求められる水平慣性力を橋脚の塑性変形を考慮して低減したものである。式 (11.3) は道路橋示方書 V¹⁾ や文献²⁾ と同様に、降伏水平耐力 P_y を耐力上限値とした完全弾塑性体と仮定して安全側の値を提示している (解説図 11.2)。解説図 11.1 に示す P_y 、 P_a をもとに実状に即しバイリニア型と仮定すれば k_{he} は式 (解 11.1)^{3), 4)} により求められる。式 (解 11.1) で $P_a = P_y$ とすれば式 (11.3) となる。

$$k_{he} = \frac{\frac{P_a}{P_y} k_{hc}}{\sqrt{(1 + \frac{P_a}{P_y})\mu - \frac{P_a}{P_y}}} \quad (\text{解 } 11.1)$$



解説図 11.2 等価水平震度を求めるための P-δ 関係

11.3.5 安全性の照査

地震時保有水平耐力の照査では、11.3.2 に規定する橋脚の地震時保有水平耐力 P_a が 11.3.1 に規定する等価水平震度 k_{hc} に等価重量 W を乗じて求められる力以上となるようにしなければならない。ここで、等価重量は式 (11.4) により算出するものとする。

$$W = W_U + 0.5W_P \quad (11.4)$$

ここに、 W : 安全性の照査に用いる等価重量

W_U : 橋脚が支持している上部構造部分の重量

W_P : 橋脚躯体の重量

【解 説】 この照査法は道路橋示方書 V¹⁾ の規定に従っている。

11.4 動的解析による照査

11.4.1 一般

地震時の挙動が複雑な構造物は動的解析により安全性を照査するのが望ましい。

【解 説】 動的解析による照査は、地震時の挙動が複雑な構造を対象に以下の2通りの場合について行うことが考えられる。

- (1) 震度法で設計した構造物を弾性微小変位理論に基づく動的解析で検証する場合
- (2) 地震時保有水平耐力の照査を弾塑性有限変位理論に基づく動的解析で検証する場合

(1) の場合は基本的には道路橋示方書^{V1)}に示されているような地震入力を用い最大断面力(最大応力)、最大変位等を計算する。本設計指針の照査式を用いる場合には、11.2 震度法の照査の解説の所で述べたように最大断面力(最大応力)に対して $\gamma = 1.13 \phi$ (ϕ : 部材強度係数)倍する必要がある。

(2) の場合には繰り返し荷重下の応力・ひずみ関係を考慮した動的弾塑性有限変位解析により照査する。地震入力としては架設地点において過去最大の強震記録や必要に応じてさらに大きな強震記録を用いる。文献²⁾では兵庫県南部地震をもとに地盤種別に応じて用いる強震記録について説明している。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1996年12月。
- 2) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)，1995年6月。
- 3) 土木学会鋼構造委員会，鋼構造新技術小委員会：鋼構造物の安全性の調査報告—阪神大震災における鋼構造物の被害報告と今後の耐震設計について—，pp.100-124,1995年5月。
- 4) 阪神高速道路管理技術センター，日本鋼構造協会：鋼製橋脚の塑性時の変形能に関する業務報告書，1995年3月。
- 5) 土木学会・耐震基準等基本問題検討会議：土木構造物の耐震基準等に関する提言，1995年5月。
- 6) 土木学会：鋼構造物の終局強度と設計，4.1 鋼構造物のダクティリティを考慮した設計法,pp.303-320，1994年7月。