

鉄筋コンクリート橋脚の終局状態の設定法に関する一考察

運上 茂樹

正会員 工博 建設省土木研究所 耐震研究室(〒305 つくば市旭1番地)

1. まえがき

実験から求められる曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚の損傷は、一般に、ひび割れの発生、ひび割れの進展、かぶりコンクリートの剥離と軸方向鉄筋の座屈、軸方向鉄筋の破断によって最終的な破壊に至る過程をたどる。このため、構造物に損傷が生じることに立ち入って耐震設計を行うためには、構造物にどのような損傷が進展するかということを知ることが最も重要であり、非線形域の力学的特性を適切に求めるためには、損傷の進展状況を適切に評価できることが全てと考える。

本文は、地震時保有水平耐力法に基づき鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計を実務的に行うことを考慮し、鉄筋コンクリート橋脚の非線形域の特性や終局状態について、道路橋示方書¹⁾に規定される鉄筋コンクリート橋脚の考え方からもう一度原点に振り返って、破壊モードや損傷モードに応じた終局状態の設定法について検討すべきと考える課題について整理したものである。なお、これらは、著者が考える課題であり、既に解決されている課題も含んでいる可能性もあることに注意していただきたい。

2. 鉄筋コンクリート橋脚の破壊モード

道路橋示方書では、軸方向鉄筋の段落し部での損傷を避けることを前提として、鉄筋コンクリート橋脚の破壊形態として、曲げ破壊型、曲げ損傷からせん断破壊移行型、せん断破壊型の大きく3種類に分類して、それぞれに対して地震時保有水平耐力と許容塑性率を与えている。このような大きな分類としての破壊モードの他に、実際の被害形態や模型実験結果の被害形態をもう少し細かく見てみると、以下のような破壊モードや損傷モードの違いが見られる。

①軸方向鉄筋の破断

かぶりコンクリートは大きく剥離しないが、軸方向鉄筋が破断する損傷

②損傷領域(塑性ヒンジ領域)

損傷領域が断面幅相当の高さを有するような場合から非常に狭い範囲に損傷が集中する場合

③せん断破壊モード

せん断破壊面が45度程度に近い損傷から0度に近い水平せん断や45度を超えるさらに大きな角度でのせん断破壊

このような損傷モードの違いは、材料特性や荷重の載荷条件が一定であれば、寸法諸元、配筋条件によって定まるものと考えられる。例えば、①のような損傷は大断面・低鉄筋橋脚の場合や帯鉄筋による拘束効果の高い場合などに見られる損傷である。すなわち、コンクリートが軸方向鉄筋よりも相対的に強くなった結果、破壊がコンクリートではなく、軸方向鉄筋で生じるというものである。

このような損傷モードをより正確に把握できる計算方法があれば、各種の断面諸元を有する部材に対して設計上望ましい損傷モードを誘導できるように設計できるのではないかと考える。

3. 終局状態の設定法

(1)せん断耐力の評価

一般に曲げ耐力は材料強度さえ適切に評価できれば、断面の平面保持を仮定した通常の鉄筋コンクリート部材の計算により、実験値をよい精度で再現することができる。一方、せん断耐力については、これまで非常に多くの研究が行われているところである²⁾が、特にコンクリートが負担できるせん断耐力に関しては、材料自身の特性もありばらつきの中で決定されている状況である。

1)柱部材に対する寸法効果の影響

コンクリートの負担できる平均せん断応力度については、道路橋示方書では、大型鉄筋コンクリート梁部材のせん断載荷試験結果等に基づいて、断面の有効高さが大きくなるとコンクリートの負担できる平均せん断応力度が低下するという寸法効果が考慮されている。道路橋示方書にも解説されているように側方鉄筋や帯鉄筋が存在する部材の場合には寸法効果が小さくなる可能性もあり、また、はり部材に対する寸法効果は明確であるが、側方鉄筋が十分に配筋されている柱部材では寸法効果は小さいという実験結果もあり³⁾⁴⁾、こうした点を明らかにしていくことが重要と考える。

2)コンクリートと帯鉄筋の相互作用

実験で計測された帯鉄筋のひずみを見ると、コンクリートにひびわれが生じるまでは、一般に帯鉄筋のひずみは小さい。帯鉄筋が負担するせん断耐力は、一般に45度程度のせん断破壊面を仮定して、この高さの範囲の帯鉄筋に降伏ひずみが生じると仮定してせん断耐力を算定する。一方、鉄筋が降伏する程度

のひずみが生じた状態では、コンクリートには既に明確なひびわれが進展しているわけであり、このような破壊状態では単純にコンクリートが負担できる平均せん断応力度という表現方法ではなく、このようなコンクリートの負担できるせん断耐力の支持メカニズムを検討する必要があると考える。また、寄与しない方向に帯鉄筋を配筋してもせん断耐力が大きくなるという実験データもあり、帯鉄筋による拘束の向上によりコンクリートの見掛けのせん断耐力も大きくなるのではないかと考える。このような点に関しては、今後、さらに柱部材を意識した実験データの蓄積が必要と考える。

(2) 曲げ終局の評価

道路橋示方書では、鉄筋コンクリート橋脚の終局時として帯鉄筋による拘束効果を考慮したコンクリートの応力度～ひずみ曲線⁵⁾を基本に、最外縁の軸方向鉄筋位置で終局ひずみを与えている。この方法は、従来の鉄筋コンクリート部材の断面計算法を基本としており、力学的に明解であり、また、断面条件や寸法が異なる各種の部材に対して応用が可能である。一方で、設計で取扱うじん性率として、せん断耐力と曲げ耐力の比により算出する方法²⁾、構造細目を定めて構造特性に応じて一律に与える方法⁶⁾～⁸⁾、なども設計実務で用いられている。これらの方法は、多くの実験データ等をもとに定められているが、コンクリート部材にどのような破壊現象が生じるかを再現することを考えたものではない。いずれの方法もある条件の範囲では、現実の部材の特性を再現できていると考えられるが、このような手法の適用範囲を明確にしておく必要があると考える。

1) 曲げ破壊モード

現在は、破壊モードとしては、かぶりコンクリートがはがれて軸方向鉄筋が顕著に座屈する状況を想定してコンクリートの圧縮ひずみで終局状態を設定している。上記2.)にも示したように低鉄筋比の場合や過拘束の場合などは、コンクリートは比較的健全のままで、軸方向鉄筋の破断により最終状態に至る場合がある。

このため、このような場合にはコンクリートのひずみ等で終局状態を算定することは適切ではなく、この最終状態の要因となる軸方向鉄筋のひずみなどで決めることが合理的である。

2) 終局変位の算定方法

道路橋示方書では、橋脚基部に塑性ヒンジを想定して、ここでの塑性回転角をもとに塑性変位を算出する方法を用いている。この際、塑性ヒンジ長という概念を用いて終局時の変位を算出する。道路橋示方書にも解説されているように、この分野の研究はまだ十分ではなく、今後の研究が必要とされるところである。本来、塑性率を決定する塑性ヒンジ長は、橋脚の破壊モードに依存するものであるので、塑性ヒンジ領域において耐力を低下させずにどのように回転変形を吸収するかを明らかにすることが重要で

ある。橋脚基部の塑性ヒンジ部ではコンクリートの損傷や軸方向鉄筋の伸び及び座屈、また、フーチング天端付近での軸方向鉄筋の伸び出しなどにより主に回転変形を吸収する。Priestleyらは、橋脚高さ³⁾と軸方向鉄筋の直径により塑性ヒンジ長を与えているが、このような破壊現象を考えると、塑性ヒンジ部でのコンクリートの損傷範囲については、せん断支間比、曲げ耐力/せん断耐力比、帯鉄筋比、軸方向鉄筋比などが相互に関連して影響し、また、塑性ヒンジ部での軸方向鉄筋の伸びやフーチング上部での伸び出しについては軸方向鉄筋の強度や直径、コンクリートの付着強度などが影響すると考えられる。このため、このような因子をそれぞれ明らかにしていくことにより、より合理的な塑性ヒンジ長が設定可能と考える。

3. まとめ

耐震設計は、一般に、設計外力の評価、地震時の応答計算、そして安全性の照査という3つの段階を踏んで行われる。これらの3つの段階それぞれに対して、設計パラメータのばらつきや不確定性、精度といった問題を総合的に考慮して耐震設計が行われる。今回は、この中でも部材特性に観点から見た安全性の照査法について検討すべき課題を簡単に考察した。このような課題の他にさらに載荷繰返し回数などの載荷条件のパラメータもあり、今後こうした課題を1つ1つ解決していくことが重要と考える。

さらに、最も不確定性の大きい地震力というものをどのようにとらえていくか、地震力の推定精度を高めていくとともに、こうした不確定性に対して構造設計の観点からどのように配慮しておく必要があるかといったことを検討する必要があると考える。

また、設計がどれだけ優れていても実際に施工される鉄筋コンクリート構造物が設計通りにできないならば意味のないことであり、材料強度など設計時にもできるだけ施工に配慮することが重要と考える。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編，1996年
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編，耐震設計編，1996年制定
- 3) M. J. N. Priestley, F. Seible, G. M. Calvi : Seismic Design and Retrofit of Bridges, 1996
- 4) T. Ontaki, M. J. N. Priestley, F. Seible : Seismic Performance of a Full Scale Bridge Column, - As build and as Repaired -, Proc. of National Seismic Conference on Bridges and Highways, 1997
- 5) 星隈順一、川島一彦、長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査に用いるコンクリートの応力～ひずみ関係、土木学会論文集、No. 520/V-28、1995年8月
- 6) CARTRANS : Bridge Design Specifications, 1990
- 7) Transit New Zealand : Bridge Manual, 1995
- 8) P. E. Pinto : Eurocode 8 Part 2: Earthquake Resistant Design of Bridges, Proc. of the First Japan-Italy Workshop on Seismic Design of Bridges, 1995