

特集

地

震

プレストレストコンクリート構造の耐震性と問題点

猪 股 俊 司*

構造物耐震設計の基本概念として次の事項は既に広範囲に認められているものである。すなわち 10 年～20 年に一度というような程度の比較的頻度の高い地震に対しては被害を受けることがなく、数十年ないし百年に一度というようなきわめてまれな大地震にあって損傷を生じてもよいが崩壊することなくまた人命の安全が守られるように構造物を設計する必要がある。

最近の大地震による震害、強震動の加速度記録、さらに地震応答解析の知識に照らして、強震時構造物に作用する地震力はかなり大きくなり得ることは明らかとなってきた。従来の慣用耐震設計に使用されてきた静的震度 0.2 あるいは 0.3 は、構造物に作用する地震応答加速度が 0.2g あるいは 0.3g にすぎないというものではないのである。大地震時に推定される地表面加速度は 0.2g 以上であり固有振動周期の短い弾性体構造物にあっては、地表面加速度の 3～4 倍、時にはこれ以上の加速度が生ずるものであって、実際に加わる震度としては慣用設計に用いられた震度をはるかに上回る可能性があるのである。

したがって設計震度で設計された構造物が強震に十分耐え得るためには、

- (1) 設計震度に対して十分な強度の余裕を持っている。
- (2) 構造各部または基礎地盤が降伏するため構造物に作用する地震力はある値以上とはならないので強度上は安全であるが、降伏にともなって生ずる大きい変形に構造各部が追従できる能力をもつ十分大きい降伏後の粘りを発揮できること。

なども重要なことであると考えられている。強震度における被害、無被害の構造物についての調査結果によって以上のことは明らかとなっている。

慣用耐震に用いられている設計震度を 0.2 にとったとしても実際の地震時にも 0.2 にしかならないというのでは決してなく、これ以上の値となり得る可能性を認めながら前述の耐力余裕と降伏後の大きい変形能力すなわち粘りとを設計上の前提として、0.2 を設計上最低必要なものと考えていることに特に注意する必要がある。

以上のことを考慮すると慣用震度法によって耐震設計

のなされた PC 構造物が上記二つの設計前提を常に満足できるようになっているか否かが重要な問題となるのである。PC 部材の履歴特性曲線形状は鋼または鉄筋コンクリート部材のそれとは著しく異なった特徴を有しているものである。すなわち PC 部材は履歴により構造減衰が最も少ないが、鉄筋コンクリート部材に比較すると剛性の劣化はほとんどないことが明らかである。地震による慣性力が部材に及ぼす被害のみを対象として考えるならば、この PC 構造特有の弾塑性履歴は非常に不利であるといえる。このことから PC 構造物に十分な耐震性を与えることが可能であるか否かの疑問の生ずるのも当然の結果である。

しかしながら PC 構造は鉄筋コンクリート構造の有している種々の欠点をカバーすることのできる構造であることを考慮し、積極的に耐震性を付与する方法を研究開発する必要があるので、この方向に研究者の研究も進められているのが現況である。軸方向鉄筋配置、圧縮側コンクリート横方向ひずみ拘束用鉄筋配置などじん性増加のための研究がなされている。

さらにパーシャルプレストレッシングの利用(Ⅲ種)も PC 構造物耐震性改善に役立つものとして最近特に注目されている。部材断面曲げ耐力は、

$$\text{引張鋼材引張荷重} \quad A_p f_p + A_s f_{sy}$$

に比例する。ここに A_p , A_s は、それぞれ PC 鋼材および引張鉄筋断面積、 f_p , f_{sy} は、それぞれ PC 鋼材引張強度および鉄筋降伏点応力度である。

すなわち $A_p f_p$ を減少させ $A_s f_{sy}$ を増加させるならば、断面曲げ耐力には変化がないが、部材の履歴特性曲線形状は変化させられる。すなわち $A_p f_p$ の値が大きいほど、PC としての復元特性が発揮され、 $A_p f_p$ 値が小さいほど鉄筋コンクリート部材の履歴特性曲線形状に近くなりエネルギー放散は大きくなり得る。したがって次のプレストレッシング度係数によって部材履歴特性曲線形状を変えることができる。

$$\text{プレストレッシング度係数} = \frac{A_p f_p}{A_p f_p + A_s f_{sy}}$$

頻度の高い中程度の地震に対しては PC 構造としてのすぐれた復元特性を発揮させ、地震後にも全く損傷の残らない状態にすることができ、他方強震時には鉄筋降伏によって履歴特性曲線が鉄筋コンクリートのそれに近い

* (株)日本構造橋梁研究所副社長、工博

ものとなるようにでき、地震応答値をある値以上とならないようにすることが可能となる。このような目的を最も適切に発揮できるようにするには、プレストレスング係数をどのように選定するのがよいかについての研究が今後盛んとなるであろう。

従来の研究および経験によると地震時 PC 構造物挙動に関して次のように結論することが可能であろう。

- (1) 交番荷重作用に対して設計された PC 部材の地震時挙動は十分満足すべきものであり、破損は主として構造物支承部または継手部に生じている。時に地上に落下しても PC 部材その物にはほとんど損傷の認められていない場合が多い。したがって支承部、継手部などの設計に特に注意をはらう必要がある。
- (2) ラーメン隅角部または不測の端固定の生ずる可能性のある部材端などにあつては、設計計算上モーメント交番がなくとも交番モーメントに耐えられるように設計をする必要がある。一般に異形鉄筋およびコンクリート拘束用スターラップなどの配置がこれらの区間に必要である。
- (3) 一方向荷重時最大曲げモーメントが、断面の破壊抵抗モーメントの約 80% をこえないならば、逆方向荷重に対する耐力に影響を与えることはない。大きい交番荷重時破壊は圧縮縁コンクリートひずみが 0.002 をこえると生ずるものである。より大きいひずみを繰り返すと、圧縮側コンクリートのはげ落ちによって耐力、剛度ともに減少する。この退化現象は圧縮鉄筋およびコンファインメント用鉄筋配置によって防止でき、エネルギー吸収およびじん性、いずれも増大させるものである。
- (4) コンクリートの圧縮破壊前または PC 鋼材の著しく大きい塑性ひずみ発生前にあつて、荷重および除荷曲線は bi-linear 形状であつて、折点はひびわれ開口および閉口の状態に相応している。荷重曲線と除荷曲線とは相互にほとんど平行である。2~3 回繰返しを実施したのち、ひびわれ状況が安定したときに両曲線間の幅は繰返し回数とともに減少して、ある一定幅となる。ひびわれによる急激な剛度変化はなく、その前の最大荷重作用値によって主として決定されるゆるやかな減少しかない。ひびわれ再開には繰返しによって著しく影響されることもなく、またその前の最大荷重作用値にもあまり影響されない。緊張材も断面中央に配置されていると、ひびわれの閉じた断面剛度は繰返し交番の結果、ひびわれなき断面剛度の 1/2 程度に減少する。ひびわれ開口断面剛度とひびわれの閉じた断

面剛度との比は、交番荷重繰返しとともに減少し、平均プレストレス値の大きい場合で 0.4、小さい場合で 0.2 程度となる。設計にあつてこのことを考慮して断面剛度を定める必要がある。

- (5) PC 部材は相当大きい非弾性変形域にまで変形させられたのちにもすぐれた復元性を有している。この弾性回復の理由で残留損傷および残留変形は、鉄筋コンクリートに比較して大地震後にも著しく小さい。
- (6) 微小振動に対する動的荷重応答は大振動に対するものと異なっている。大振動応答を求めるためには圧縮縁コンクリートひずみは 0.0006 程度以上でなければならぬ。
- (7) 弾性回復性の理由から PC 部材におけるエネルギー放散は鉄筋コンクリートに比較して少ない。一般に PC 鋼材に作用している引張力の作用により、前に開口したひびわれは閉ざされる。したがって同時に配置されている鉄筋が降伏するか、PC 鋼材が降伏するか、またはコンクリートが圧壊するか、するまでは著しく大きいエネルギー放散は認められない。
- (8) プレストレス力によってモルタル目地が圧縮された状態にある限り、部材間モルタル目地の挙動は満足なものである。
- (9) 塑性ヒンジ長は梁高の 1/2 または柱梁深さ寸法の 1/2 に等しく、この区間内にモルタル目地が含まれていても変化はない。また交番荷重あるいは非弾性回転の増加によっても塑性ヒンジ長には著しい変化は認められない。

以上は従来の研究結果からまとめられた PC 構造物耐震性に関する主要な事項であるが、さらに次の事項についての研究が望まれる。

- (1) 現在までに入手可能な試験結果をもととして、プレレストコンクリートまたはこれと鉄筋コンクリートの組合せ構造物に対する地震力および変形制限などに関する解析的研究、(2) 減衰、剛度、履歴特性などに関する実験的研究と解析的研究。PC 鋼材と鉄筋との断面積比、コンファインメント用鉄筋の最小断面積比、などに関する規定の制定、(3) PC 継手構造設計規準制定のための一連の試験研究、(4) PC 部材の交番せん断力に対する耐力を決定するための試験研究、特に緊張材の曲げ上げられている区間あるいは部材支承端付近でのせん断力。

幸い現在までのところ国内にあつて地震時人命にかかわる PC 構造物崩壊事故は報告されていないが、PC 構造物をより耐震的ならしめる努力を続ける必要がある。