

I-A123 弾塑性挙動を考慮する構造物の耐震補強・設計最適化支援システムについて

北海学園大学・学生員・斉藤裕俊, 北武コンサルタント・正員・渡辺忠朋
北海学園大学・正員・杉本博之, 東急建設・正員・満尾 淳

1. まえがき 兵庫県南部地震以降の示方書類の改定により, 橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動に対する照査が義務づけられ, 地震時保有水平耐力法では最大2の設計水平震度が設定された。その結果, 特に橋梁下部構造の設計では地震荷重が支配的な荷重条件となり, 多くの橋梁で耐震補強が必要となり, また新構造物の設計においても従来とは異なる設計法の提案が要求されている。

筆者および筆者らは, 基礎構造への影響がない構造物の強度補強が可能かどうか¹⁾, また弾塑性挙動を考慮したRC構造物の耐震補強²⁾について最適化理論を応用して検討を加えてきた。後者においては, 地震時保有水平耐力法に基づく照査法により, RC ラーメン橋脚の補強最適化を試みた。地震時保有水平耐力法は示方書に定められた一つの照査法であり, 設計法としてこれでクローズしていると考えられることも出来る。また一方で, 動的解析法が要求される場合もある。断面の設計, あるいは補強の有無, 補強量が動的解析の結果に反映することは一般的と思われるので, この場合の設計法(断面等の設計における意思決定)は難しくなると思われる。前記の論文においては, 動的解析法が要求される場合においては, 地震時保有水平耐力法に基づく設計を動的解析法のための一次設計と位置づけた。

構造最適設計の歴史は, 構造解析法及び照査法のための近似モデル作成の歴史といっても過言でない。1970年代は線形近似が中心であったが, その後逆変数の導入に代表される非線形近似が中心となり, 最近では複雑な構造応答値を曲面で近似する方法³⁾が研究, 応用の中心を占めている。これらの手法は, 汎用性は高いが, 種々の非線形に関わる構造応答値が要求される構造物の設計に利用するには, まだ多くの課題を残していると考えられる。その時, 数学的なモデルに基づくのではなく, 厳密な構造解析は必要とはしないが設計問題として等価と考えられる設計モデルが設定される問題であれば, 従来の近似の概念と同様な枠組みの中で考えることが出来る。つまり, 耐震設計であれば, 構造解析的には動的解析よりもはるかに簡単である地震時保有水平耐力法等の静的解析法に基づく最適化を行い, その結果を動的解析法により照査し必要な条件を満足しなければ最適化の定式化を再検討するという方法である。

本研究は, 以上のように近似の概念に基づく構造最適設計の枠組みの中で, 弾塑性挙動を考慮する構造物の耐震補強・設計の支援システムについて検討を加えたものである。

2. 設計モデルの利用による最適化支援システム 本研究の考え方による動的解析を要求される構造物の場合の補強・設計最適化支援システムの流れを図-1に示した。

最初に, 例えば地震時保有水平耐力法のような静的解析法に基づく最適化問題が定式化される。その問題は一般的には離散変数から構成されると思われるのでGAを用いて解を求める。一次設計が得られたことになる。動的解析が特に求められない構造物であればここで設計が得られたと考えられる。動的解析が必要であれば, 得られた一次設計に対して動的解析を行い設計が照査される。結果, 設定されている性能規準を満足すれば設計は終了する。満足しなければ, その程度に応じて, 設計の微少変更か, あるいは最適化問題の再定式化により対応することになる。

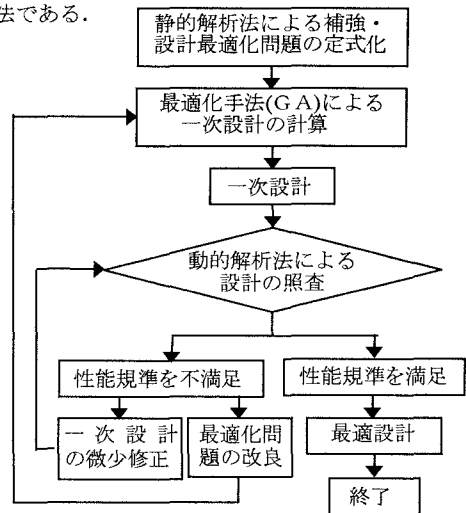


図-1 耐震補強・設計のための支援システム

キーワード 耐震補強, 耐震設計, 近似の概念, 構造最適化, 遺伝的アルゴリズム
〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目 TEL(011)841-1161 FAX(011)551-2951

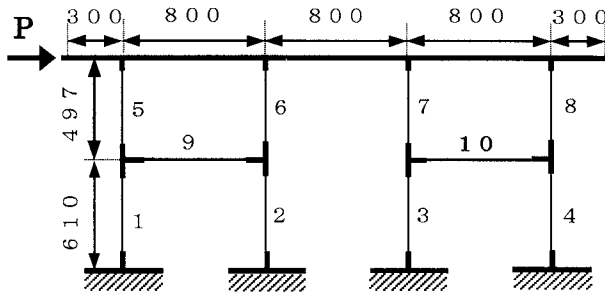


図-2 計算例のRC構造物(cm)

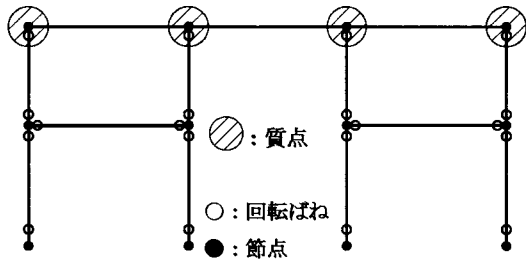


図-3 解析モデル

表-1 炭素繊維の場合の補強量

部材	補強量(mm)		
	剪断	下(左) 靱性	上(右) 靱性
1, 4	0.445	0.779	0.445
2, 3	0.668	0.668	0.668
5, 8	0.779	0.779	0.779
6, 7	0.779	0.779	0.779
9, 10	0.556	0.556	0.556

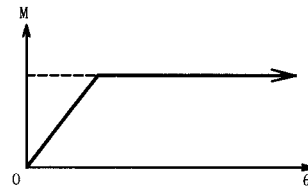


図-4 部材の非線形性の概念図

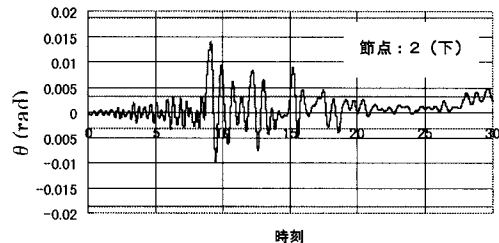


図-5 回転角の時刻歴応答

3. 計算例 計算例として、図-2に示すRC構造物²⁾の計算結果を示す。タイプIの地震動⁴⁾に対して1, タイプIIの地震動⁴⁾に対して1.5の設計水平震度の時、引張り強度3000N/mm²の炭素繊維で補強した場合の補強量は表-1のように得られた。この結果に対し、ばねマスモデルによる動的非線形時刻歴応答解析を実施して照査を行った。解析モデルを、図-3に示す。補強部材の非線形性は、図-4に示すような部材の非線形性を部材端部の回転ばねでモデル化する材端ばねモデルを用いた⁵⁾。なお、非線形性は、バイリニヤ型としてモデル化し、復元力特性は武田モデルを用いた。減衰は部材の剛性に比例するものとして初期減衰を0.3%とした。入力地震動は、設計時に想定したタイプIIの換算弾性水平震度との整合性を図るため弾性応答スペクトルの最大応答値が概ね1500gal程度となるような地震動として、鉄道構造物の耐震設計に適用されている地震動(G4A波)⁶⁾を用いた。動的非線形時刻歴応答解析から得られた部材端部における回転角の時刻歴の一例を図-5に示す。また、各部材における安全性の照査結果を表-2に示す。表で θ_{rd} が限界回転角であり、 θ_d が回転角の応答値である。これによると、すべての部材で安全性を満足する結果となり、最適化手法(GA)を用いた1次設計の妥当性が検証される結果となった。

表-2 検討結果 (単位: rad)

着目点	θ_{rd}	θ_d	$\gamma_i \theta_d / \theta_{rd}$
5 (上)	1.62E-02	1.15E-02	0.71
5 (上)	7.75E-03	1.29E-03	0.17
6 (上)	1.70E-02	1.19E-02	0.70
6 (下)	-7.14E-03	-1.40E-03	0.20
1 (上)	8.67E-03	1.91E-03	0.22
1 (下)	1.60E-02	1.43E-02	0.89
2 (上)	-9.00E-03	-1.84E-03	0.20
2 (下)	1.78E-02	1.41E-02	0.79
9 (左)	-1.54E-02	-1.51E-02	0.98
9 (右)	1.54E-02	1.35E-02	0.88

4. あとがき 耐震補強問題に、最適化手法(GA)を用いて1次設計を行い、その結果を用いて動的解析により安全性の照査を行う設計体系を提案し、具体的構造物を例にして検討した。数値計算の結果、良好な結果が得られたが、なお今後、1次設計モデル及び耐震設計等への応用について検討する予定である。

参考文献 1) 杉本・満尾・鹿: 水平荷重増加のための橋脚補強最適化に関する一考察, 構造工学論文集 Vol. 44A, pp. 479-486, 1988. 2) 弾塑性挙動を考慮するRCラーメン構造の補強最適化の一試み, 構造工学論文集 Vol. 45A, pp. 423-432, 1999. 3) 柏村孝義: 統計的設計支援システムの開発とその応用, 横浜国立大学博士学位論文, 1997. 4) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 平成8年12月 5) (財)鉄道総合技術研究所: 炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強設計・施工指針, 平成8年7月 6) (財)鉄道総合技術研究所: 新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料, 平成8年3月