

耐震最適設計における鉄道 RC 構造物の骨格曲線算定の合理化について

北海学園大学 正会員 杉本博之 学生員 亀海貴寛 北武コンサルタント 正会員 渡邊忠朋

1. 研究目的 RC 構造物の耐震設計過程における厳密な時刻歴応答解析の回数を減らすために、筆者らは2段階の最適耐震設計システムを提案し、鉄道高架橋等の設計に応用してきた。ここでは、非線形構造解析と非線形応答スペクトルを利用する耐震性の照査と最適化手法 GA が組み合わせられた。同様な設計法を鋼製橋脚でも応用したが、鋼製橋脚の場合と比較して RC 構造物では多くの計算時間がかかるのが課題の一つであった。理由は、断面寸法が変わる毎に要求される骨格曲線の計算に2重の収束計算を含んでいることにあった。そこで本研究では、部材の骨格曲線の計算の合理化とともに、骨格曲線に関わる計算をできるだけ事前に準備しておき、最適化の過程で行われる計算の負荷をできるだけ少なくすることを試みた。RC 構造物の断面を構成する変数はいくつかあるが、骨格曲線に関わるのは多くはなく、可能な組み合わせ数は本研究では48であり、事前の計算が可能となる。

2. 骨格曲線の算定

2.1 設計変数 本研究で設定している設計変数および、その値を表-1, 2 に示す。B は断面幅, H は断面高さ, N は軸方向鉄筋本数, J は鉄筋段数, Dw はせん断補強鉄筋径, Nw はせん断補強鉄筋組数, Sw は部材両端2H区間のせん断補強鉄筋配置間隔, Sv は2H区間外のせん断補強鉄筋配置間隔である。本研究では正方形断面を対象としており, HおよびNは, Bに応じて自動的に決まるとしている。また, 軸方向鉄筋の配置は, Dw の値によって変化するため, 骨格曲線算定に影響する変数は, 断面幅B, 鉄筋段数J, せん断補強鉄筋径Dwであり, 48通りの組み合わせとなる。

表-1 断面構成

B (mm)	H (mm)	N (本)	J (段)
600	600	6	1 or 2
700	700	8	
800	800	9	
900	900	10	
1000	1000	11	
1100	1100	11	
1200	1200	12	
1300	1300	13	

2.2 骨格曲線 鉄道構造物等設計標準²⁾(以下, 鉄道標準)に示されるRC部材の骨格曲線は図-1のようなM(曲げモーメント) - (回転角)のテトラリニアモデルで表される。図-1のC点は曲げひび割れ発生点, Y点は降伏点, M点はモーメント最大点, N点は終局点である。Y点~N点は非線形領域に入っているため, 算定の過程において収束計算を必要とする。

表-2 せん断補強鉄筋

Dw (mm)	Nw (本)	Sw (mm)	Sv (mm)
16	1~2	100	100
19	1~2		or
22	1~2		200

また, 最適化の過程から解析の過程に設計変数(断面寸法等)が渡されるたびに, 死荷重状態における断面力が最初に計算される。これによる各部材の軸力は, 静的弾塑性解析の過程では変化しないと仮定されている。これらの軸力はまた事前に計算され, 以下に説明する骨格曲線の計算に用いられる。

2.3 事前準備 事前準備は, 図-1のY, M, Nの各折れ点のモーメントと回転角を, 48組みの断面寸法に対して事前に求めておくことである。

各折れ点に対応する曲げモーメントは, ある設計変数の組み合わせに対して部材軸方向の軸力の釣合いから中立軸を求めることにより事前に求めることは可能である。

しかし, 回転角はその計算にせん断スパンが必要となり, せん断スパンは, 各部材の断面寸法の変化により変化する値であるので, 事前に完全に求めておくことはできない。部材回転角は, 図-2に示すようにせん断スパンで切り取られた片持ち梁において, 部材軸方向に曲率を計算し, その曲率の面積を計算してそれに片持ち梁上部から曲率面積の重心までの距離を掛けて得られる頂部水平変位をせん断スパンで除することにより基本的には得ることができる。図-2は, 図-1の各Y点, M点, N点における曲率分布の一般的な関係を示している。太線の部分が塑性域であるが, 本来はこの区間を多数に分割し, 各点における軸力と曲げモーメントの釣合いから曲率を求めるものであるが, 図から, Y点においては, その塑性域の曲率分布 $C_y - D_y$ 間が直線, M点においては, 塑

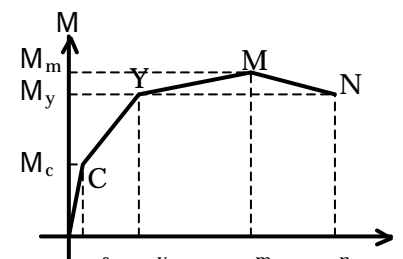


図-1 RC部材の骨格曲線

キーワード 最適耐震設計システム, 骨格曲線, 収束計算

連絡先

〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目1番1号 北海学園大学 TEL (011)841-1161

性域の曲率分布が、 $C_m - D_m$ 、 $D_m - E_m$ の2本の直線、N点においては、 $C_n - D_n$ 間が直線からなると仮定した。その結果、上記の各点のモーメントに対応する曲率さえ事前に求めておけば、せん断スパンが与えられれば、台形の面積と重心の計算のみが骨格曲線作成のためには必要となる事がわかる。

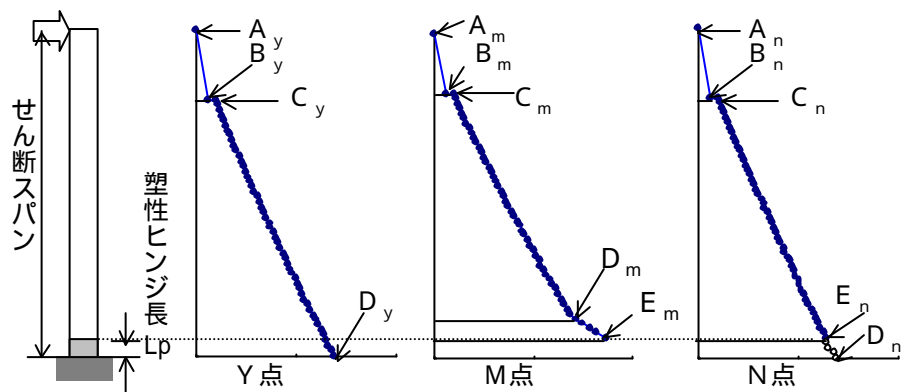


図 - 2 各点(図 - 1)の曲率分布およびせん断スパン

これらの点の曲率は、収束計算で

はあるが事前の計算が可能である。ただ、 E_m 点だけは、その曲率の計算に曲げモーメントが必要であり、結局せん断スパンの値が必要であるので、事前の計算はできないことになる。

2.4 最適化過程の計算 最適化の過程においては、各部材の断面寸法が種々与えられ設計が吟味される。毎回構造解析が行われ、モーメント分布からせん断スパンが計算される。

図 - 1のY点においては、図 - 2の C_y 、 D_y 点の曲率が事前に計算してあるから、せん断スパンが与えられると図 - 2の頂部の弾性域の三角形と塑性域の台形の面積と重心の計算より回転角を計算できる。

M点においては、せん断スパンが与えられると E_m 点のモーメントが求められ、それより収束計算により曲率が計算され、弾性域の三角形、と2つの台形の面積と重心の計算より回転角が求まる。

N点においては、Y点と同様に回転角を求めることができる。

これらより、ある部材の骨格曲線は、その計算過程に一つの収束計算を含むだけで求めることができる。これらの計算は、従来、各折れ点毎に塑性域を3等分にして3点の曲率の計算を収束計算により行っていたが、従来の合計9回の収束計算を1回に減らすことが可能となる。これにより、多くの解析が要求される最適化の過程において、大幅な時間短縮を期待できるものと思われる。

3. 骨格曲線の比較 本研究では、従来の計算方法と簡易化された計算方法のそれぞれの計算方法で骨格曲線を算定し、比較した。比較の対象とした断面構成を表 - 3に、算定した骨格曲線を図 - 3に、骨格曲線における各折れ点の数値を表 - 4に示す。また、せん断スパンは3285.94ミリメートル、軸力は1117.7kNである。曲げモーメントは、あらかじめ算出しているため一致している。図 - 3、表 - 4から、2つの方法で算出した骨格曲線はほぼ一致していることが確認できる。他の例でも同様の結果が得られており、本研究で提案している簡易的な骨格曲線算定方法を構造解析に用いても応答値に対する影響は少ないものと考えられる。

4. 結論 本研究では、RC構造物の最適耐震設計における計算時間の短縮を目的として、鉄道標準に示されるRC部材の骨格曲線の簡易的な算定と合理化を試みた。計算時間がかかる原因である軸方向力と曲げモーメントに関する収束計算の回数を減らすことにより、以前より短時間で骨格曲線を算定できると思われる。また、算定された骨格曲線は、従来の算定方法の結果とほぼ同様の結果となることが確認できた。今後は最適設計にも応用し、その計算時間について検証し報告する予定である。

参考文献 1) 渡邊・杉本・朝日：補修費用を考慮した耐震設計に関する一考察、土木学会論文集 No. 718/V-57 pp81-93, 2002. 2) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 丸善, 1999.

表 - 3 断面データ

B (mm)	H (mm)	N (本)	J (段)	Dw (mm)	Nw (本)	Sv (mm)
700	700	8	1	22	2	200

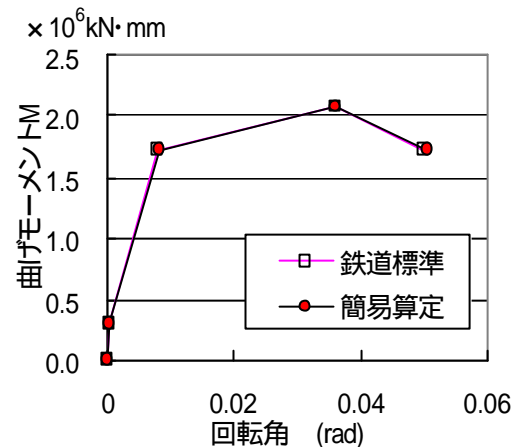


図 - 3 骨格曲線

表 - 4 骨格曲線の各折れ点

	鉄道標準		簡易算定	
	(rad)	M(kN·mm)	(rad)	M(kN·mm)
C	0.00043	297392	0.00043	297392
Y	0.00794	1722756	0.00823	1722756
M	0.03576	2079659	0.03598	2079659
N	0.04995	1722756	0.05058	1722756