

非線形動的解析による連続PCラーメン橋の設計

中日本建設コンサルタント(株) 正会員 太田好宣

中日本建設コンサルタント(株) ○ 鵜飼昭雄

1. はじめに

近年、地震時保有水平耐力法等の静的解析に加え、動的解析による橋全体系の耐震性能の照査を行う事が求められている。分散査を用いた桁橋形式の動的解析事例は比較的多くあるが、ラーメン橋に関しては設計事例が少ないのが現状である。本報告では連続ラーメン箱桁橋である474号飯橋道路の8号橋に対し、非線形動的解析を含めた設計手順を述べる。なお、基本的な解析手順は日本道路協会発行の「道路橋の耐震設計に関する資料 平成10年1月」(以下耐震設計資料)に従った。

2. 対象橋梁諸元

橋種：4径間連続PCラーメン箱桁橋

橋長：329m(62.5+2@102.0+62.5)

幅員：11.410m

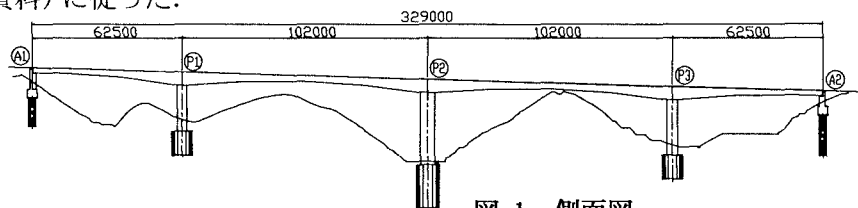


図-1 側面図

3. 非線形動的解析によるラーメン橋の設計

設計対象橋梁に対し地震時における安全性の確保を図る事を目的とした非線形動的解析による照査を行う。

3-1. 基本構造の決定

非線形動的解析を行うにあたり以下の4項目について事前に設計を行った。

①基本寸法の決定

各橋脚の柱下端に発生するモーメントおよび水平力にできる限りばらつきがないバランスの取れた構造とするため静的FRAME解析を行った。柱形状を繰り返し計算により求め、これを基本形状とした。

②常時断面力の算出

設計橋梁はPCラーメン橋であり、常時状態において死荷重以外に導入プレスト力、クリフ、乾燥収縮等により上・下部工ともに断面力が作用した状態になる。非線形動的解析を行うには、初期断面力を考慮する必要があるために常時断面力の算出を行った。

③震度法解析

震度法で解析を行い、各橋脚の主鉄筋の基本配筋を設定した。

④地震時保有水平耐力法による解析

上記①～③により決定した柱断面と配筋について、地震時保有水平耐力法の解析を行った。この解析結果に基づき横拘束筋、帯鉄筋の基本配筋を決定した。

3-2. 非線形動的解析の計算

上記①～④により決定した構造について非線形動的解析による照査を行った。照査項目は以下に示す。

1. 塑性回転角に対する判定, 2. せん断力に対する照査, 3. 残留変位に対する照査, 4. 塑性化を想定していない部材に対する照査, 5. 上部構造の安全性の照査

3-3. 動的解析検討条件

①基本条件

地域区分：A地域, 地盤種別：I種地盤

支承条件(橋脚)：剛結合(橋台)：橋軸方向→可動支承, 橋軸直角方向→可動支承

橋台の支承は可動支承相当のゴム支承として解析している。実際は、ゴムの剛性により地震力が橋台に伝達されるが、以下の3点より可動支承相当とした。

1. 橋台に対しては一般に震度法レベルまでの検討しか行わない。(保耐法の計算は背面土が無い等の特殊な

場合を除き行わない)

2. 橋台および背面土のモデル化の手法が確立されていない。(橋台の塑性ヒンジ発生形態・背面土の減衰効果等)

3. 大規模地震時において橋台の橋軸直角方向を固定とすることは、構造的に困難であると考えられる。

②部材剛性

図-2 のようなモデル化を行った。

③地震波

建設省土木研究所より公開されている地震波より

I 種地盤の地震波を入力した。

④解析方法

解析法：直接積分法 (Newmark- β 法) による非線形時刻歴応答解析

減衰：歪みエネルギー-比例減衰～Rayleigh 型減衰

⑤減衰定数

上部工：0.03，下部工および塑性ヒンジパネ：0.02，基礎パネ：0.1

3-4. 非線形動的解析照査結果

3-2. に示す照査項目より表-1 に「4. 塑性化を想定していない部材に対する照査」の結果を示す。塑性化に対する照査結果を見ると脚上端よりも脚下端において最も曲率が大きくなっていることが分かる。これは、その部材が塑性域に近づいていることを示す。

4. 上部工照査および補強について

桁橋形式の場合、上部工は線形部材として解析するため上部工の照査は行わなくてもよいが、設計対象橋種はラーメン橋であり、地震力に対し橋梁全体系で抵抗する構造のため、上部工についても動的解析の照査を行った。最初に通常のラーメン箱桁の設計を行い、それぞれの断面について初降伏モーメント、降伏剛性、せん断耐力を算出し動的解析計算を行った。初降伏モーメントを越える部材が上部工のほとんどを占めたため、全部材を降伏剛性モデルとして解析を行った。

上部工の照査を行った結果、発生モーメントが降伏モーメントを越える断面については鉄筋径を太くして補強を行った。主鉄筋は D25 を上限とし、不足分は PC 鋼棒を設置して耐力の確保を図った。また、せん断耐力を満たさない部材については鉄筋径のアップ、配筋ピッチの縮小等を行い、所要のせん断耐力を確保した。

耐力不足の原因として、従来の常時荷重に対する上部工設計においては支間中央は下側引張に対して断面設計を行っているが、非線形動的解析を実施し上部工にまで地震動が伝達されると、支間中央部材では橋軸方向の解析において上側引張、橋軸直角方向の解析において横方向に対する引張等が発生する事が考えられる。非線形動的解析においては常時荷重の断面力とは異なる応力に対して設計を行う必要がある。

また、今回の橋梁では橋台位置の支点条件を橋軸方向・橋軸直角方向とも可動にして設計している。橋軸直角方向を固定にした解析も行った結果、桁端部において非常に大きなせん断力が発生し、応答モーメントも上部工全域で増大した。ラーメン箱桁の桁端部はケーブル定着のため複雑な構造となっており補強鉄筋を配置することが難しいため、橋台支承条件の設定は十分検討する必要がある。

5. 考察

「耐震設計資料」の計算例においては静的解析で決定した断面を動的解析で照査し、部分的に耐力が足りない断面を補強するという手法が採られている。今回非線形動的解析を行った結果、橋脚をはじめ、上部工においても多くの断面において耐力不足が見られた。そのため配筋の多くは非線形動的解析により決定することとなった。よって照査と言うよりは設計の意味合いが強くなった。PC ラメン橋の設計を行う際には、非線形動的解析によって上・下部工ともに断面決定がされる場合があることを留意するのが望ましい。

参考文献：社団法人 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料 平成 10 年 1 月

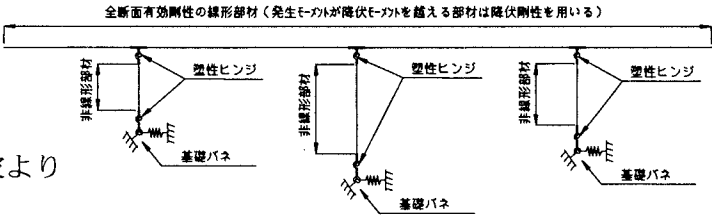


図-2 モデル図

表-1 塑性化を想定していない部材に対する照査

	部材番号	最大曲げモーメント	曲率	
			タイプII地震動 応答平均値	ϕ_{y0}/ϕ
上端 ↓ P2 ↓ 下端	1202	7752.2	19.67	21.09
	1203	12982.9	32.94	12.63
	1204	18310.6	63.25	6.60
	1205	23756.0	103.00	4.06
	1206	29291.3	143.41	2.93
	1207	34717.6	183.10	2.30
	1208	40084.3	222.26	1.90
	1209	45360.7	260.91	1.62
	1210	50528.7	298.60	1.42
	1211	55591.8	335.74	1.27
	1212	59425.8	349.22	1.15
	1213	62103.7	367.75	1.10