

鉄道構造物における要求耐震性能の合理的な設定法に関する一検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○今村 年成
同 上 正会員 室野 剛隆
同 上 正会員 川西 智浩

1. はじめに

現行の鉄道構造物の耐震設計基準¹⁾（以下，“耐震設計標準”と呼ぶ）では，土木学会の「第一次提言」および「第二次提言」を受けて，L1地震動に対しては弾性範囲で抵抗し，L2地震動に対しては損傷を許容するが崩壊は防ぐことを基本思想とする，いわゆる2段階設計法が採用されている．ここで，L1地震動に対して弾性設計という枠組みは，地震後の点検コストや復旧コスト，点検や復旧のために供用を一時停止することによる経済的被害が過大にならないように構造物を設計するために一定の役割を果たしているものと考えられる．しかしながら，構造物の設計耐用期間内には，L1地震動の強さを越えL2地震動の強さを超えない地震動が複数回発生すると考えられるので，L1地震動で弾性設計という枠組みだけでは，このような中小の地震動に対して陽な形で被害をコントロールできているとは言い難い．土木学会でもこのような議論が積極的に行われている²⁾．そこで，本研究では，現行の耐震設計標準に記載されている耐震性能の付与の仕方が合理的であるか否かについて検討することを目的とし，その判断基準には，ライフサイクルコスト（LCC）の概念を用いることを試みた．

2. 検討事例

（1）**検討対象構造物** 壁式橋脚を検討対象とし，表1に示すように異なる耐震性能を有する3種類の構造物を考えたと．断面諸元は，静的非線形解析と所要降伏震度スペクトルを組み合わせた非線形スペクトル法によって設定した．ここでは，簡単のために，断面寸法は3構造物とも同一とし，鉄筋配置量のみ最適化を行うことにした．設定した断面諸元を表2に示す．

（2）**ライフサイクルコスト（LCC）の計算** ライフサイクルコスト（LCC）は，次式により計算した．

$$LCC = C_I + \sum P_f \cdot C_f \quad (1)$$

$$C_f = C_{RE} + C_{TD} \times k \quad (2)$$

ここで， C_I は初期建設コストであり，材料費および施工費を考慮した． P_f は損傷確率である． C_f は地震被害の復旧コストであり，直接復旧コスト（物理的損傷に対する復旧コスト） C_{RE} と間接復旧コスト（供用停止に伴う収入の減額） C_{TD} に社会的影響度を表現する倍率係数 k を乗じたものを合算することで算出した．

直接復旧コスト C_{RE} と初期建設コスト C_I の比を表3に示す．ここでは，直接復旧コスト C_{RE} には，応急処置費，撤去費，補修費，再建費を考慮することとし，兵庫県南部地震での復旧実績³⁾に基づき，部位毎の損傷レベルに応じて整理した値を用いて算定することにした．この事例では，

表1：構造物に付与する耐震性能

	現行のL1地震に対する性能	現行のL2地震に対する性能
構造物①	損傷レベル1	損傷レベル2
構造物②	損傷レベル1	損傷レベル3
構造物③	損傷レベル3	損傷レベル3

表2：構造物の断面諸元

構造物		構造物①	構造物②	構造物③
柱	断面寸法	1500mm×4000mm（線路幅×直角幅）		
	主鉄筋	D32-132本	D32-132本	D19-98本
	帯鉄筋	線路	D19-10組 -ctc150	D19-10組 -ctc150
		直角	D19-2組 -ctc150	D19-3組 -ctc150
杭	杭径	φ1000mm		
	主鉄筋	D32-20本	D25-16本	D19-8本
	帯鉄筋	D19-ctc100	D13-ctc150	D19-ctc100

表3：直接復旧コスト C_{RE} ／初期建設コスト C_I

損傷部位 \ 損傷レベル	損傷レベル1	損傷レベル2	損傷レベル3
＜体	0.0	0.7	1.6
基礎	0.0	0.3	5.3

キーワード 要求耐震性能，レベル1地震動，地震リスクマネージメント，ライフサイクルコスト，鉄道構造物

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 （財）鉄道総合技術研究所 耐震構造 TEL042-573-7394

基礎が大きな損傷を受けると、直接復旧コストは初期建設コストの数倍に及んでいることが分かる。

間接復旧コスト C_{TD} には、供用停止に伴う鉄道事業者の収入の減額だけを取り扱うこととした。構造物の機能障害が地域の社会・経済活動に及ぼす影響を間接復旧コストとして推定することは難しいので、これについては倍率係数 k （本報では 1.0 と設定）で表現することにした。なお、本検討では L2 地震動に対して構造物全体系の崩壊を防ぐことを性能に設定しているので、間接コスト C_{TD} には利用者の死亡による影響は考慮していない。また、現時点では、供用停止に伴う収入の減額について十分なデータの収集ができていないので、本報では、間接コスト C_{TD} は考慮していない。

(3) 想定地震動 最終的には、想定地震動には生起確率付き地震動群⁴⁾を用いるべきであると考えているが、本報では、試みに、耐震設計標準に記載されている L1 地震動および L2 地震動と用いることにし、それぞれの生起確率を 50% および 5% と設定することにした。

(4) 検討結果と考察 検討結果を図 1 に示す。同図より、今回検討した耐震性能の範囲では、付与性能が初期建設コストに与える影響は 2~3 割程度であることが分かる。また、構造物③では、生起確率の高い L1 地震動で基礎の損傷を許しているために、膨大な直接復旧費 C_{RE} が発生していることが分かる。一方、L2 地震動では、生起確率が低いために、基礎に損傷が生じていてもライフサイクルコストに与える影響は小さい。その結果、L1 地震動と L2 地震動を組み合わせた場合、3 種類の構造物の中では、構造物②においてライフサイクルコストが最小になっている。

今回行った検討は、想定地震動やそれに付与している生起確率を確定的に定めている点や間接復旧コスト C_{TD} を考慮していない点など、かなりラフな検討であり、精度を向上させてゆく必要があるものの、このような考え方で、構造物に付与させる耐震性能を合理的に設定できる見込みがあることを確認した。

3. まとめ

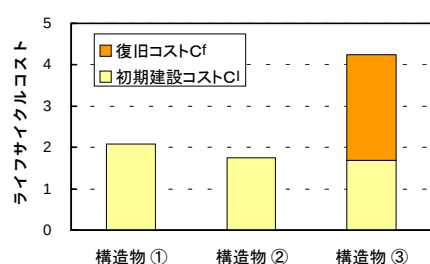
近年、地震リスクマネジメント手法を取り入れた耐震設計法に関する議論が盛んに行われている。構造物に付与させる耐震性能を合理的に設定するための手法については、今後、ますます議論を重ねてゆく必要があると思われるが、ひとつの方向性として、次のような設計体系を構築することができるのではないかと考えている。

(1) 安全性照査 現行の耐震設計標準の L2 地震動に対する設計と同一の考え方である。つまり、建設地点で想定される最大級の強さを有する地震動を選定し、その地震動に対して、構造物の動的応答値を算出して、応答値が終局変位または許容塑性率以内に収まっていることを確認することにより、構造物全体系が崩壊しないことを照査する。

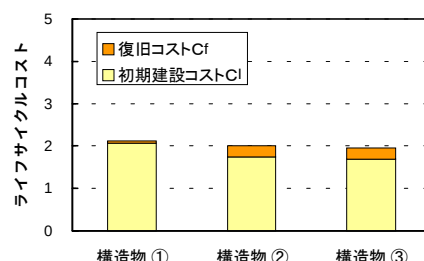
(2) 復旧性（修復性）照査 建設地点において地震ハザード解析を行い、構造物の損傷確率を算出する。そして、初期建設コストと損傷確率に基づく地震被害の復旧コストを算出して、ライフサイクルコストを求める。この作業を複数回繰返すことで、ライフサイクルコストが最小となる構造物を設計する。

参考文献

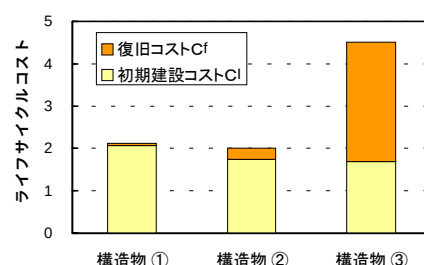
- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，1999.10
- 2) 土木学会地震工学委員会：土木構造物の耐震性能設計における新しいレベル 1 の考え方（案），2003.11
- 3) 阪神高速道路公団：大震災を乗り越えて一震災復旧工事誌一，1997.9
- 4) 安中ら：期待損失評価のための確率的ハザードに適合した地震動波形群の設定方法，第 28 回土木学会地震工学研究発表会報告集，論文番号 85(CD-ROM)，2005



(a) L1 地震動（生起確率 50%）



(b) L2 地震動（生起確率 5%）



(c) L1 地震動+ L2 地震動

図 1：LCC と耐震性能の関係