

トータルコストを用いた復旧性照査法に関する検討

(財) 鉄道総合技術研究所 ○坂井 公俊, 室野 剛隆
京都大学防災研究所 澤田 純男

1. はじめに

現在の2段階設計法においては、L2地震と呼ばれる大地震に対して崩壊を防ぎ、L1地震という設計耐用期間に数回発生するレベルの地震動に対して弾性設計を行うことで、中小の地震に対して被害をコントロールする、といった手法が取られている。しかしながら、このL1地震動を超える地震に対しては、どの程度の被害になるかという事は全く考慮されていない。また今後50年を考えた場合、東海地震なども発生頻度的にはL1地震の範疇に入るが、これらの地震に対して弾性設計を行うことは非合理的である。そこで本研究では土木学会委員会などの議論¹⁾も踏まえ、L1地震弾性設計に変わる、トータルコストを考慮した新たな復旧性照査手法について検討を行う。

2. トータルコストを用いた復旧性照査法の提案

構造物の耐震設計におけるトータルコスト TC は次式によって表現されるとする。

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

ここで、 C_I ：初期建設コスト、 P_f ：構造物の損傷確率、 C_f ：損傷コスト ($C_f = C_{RE} + C_{TD}$)、 C_{RE} ：復旧コスト ($C_{RE} = b \times C_{RE0}$)、 C_{RE0} ：直接復旧コストの基準値で理想的な条件下での値、 b ：施工環境を表現するための倍率係数、 C_{TD} ：共用停止に伴う損失、である。このトータルコスト TC 最小化を目標性能として設定した場合の復旧性照査法の設計手順は、以下の通りである。

- ① 建設地点における地震ハザード解析を行い、生起確率付き地震動群を算出する。
- ② ある強度を持った構造物に対して①の生起確率付き地震動群を用いた動的解析を行い、損傷確率 P_f を算出する。
- ③ 初期建設コスト C_I と損傷確率に基づく損傷コスト C_f を算出する。
- ④ 構造物諸元を変化させた構造物に対して②、③を繰り返し実行し、 TC が最小となる構造物諸元を求める。

原則的には上記作業を行うのが望ましいが、全ての構造物に対して本手順に従って復旧性を照査するには、多くの労力が必要である。そこで本研究では、予め幾つかの地点において生起確率付き地震動群を算定し、トータルコストが最小になるような構造物の固有周期と降伏震度の関係をノモグラムという形式で提示する。復旧性照査用ノモグラム算定手順を図1に示す。

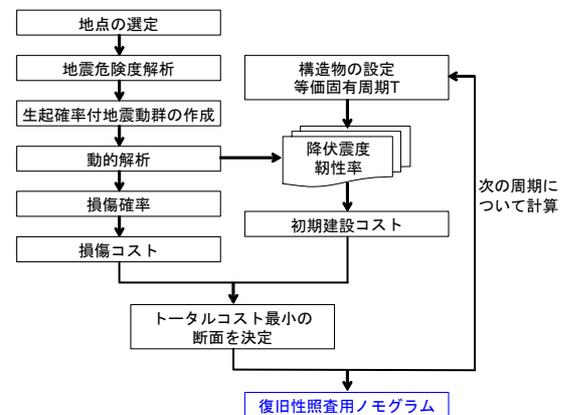


図1 復旧性照査用ノモグラム算定手順

3. 復旧性照査用ノモグラムの試算

本節では、図1に従って復旧性照査用ノモグラムを試算する。なお構造物建設地点は東京（緯度 35.68°，経度 139.75°）における新幹線構造物とし、構造形式は鉄道用複線 RC 壁式橋脚、地盤条件としては鉄道設計標準²⁾におけるG3地盤（普通地盤，周期0.40[sec]，全層粘性土，砂質土の2タイプ考慮）とする。

(1) 生起確率付き地震動群の作成

対象地点において生起確率付き地震動群を算出した。詳細については割愛するが、①対象地点における地震発生確率の算定、②断層貢献度³⁾算定、

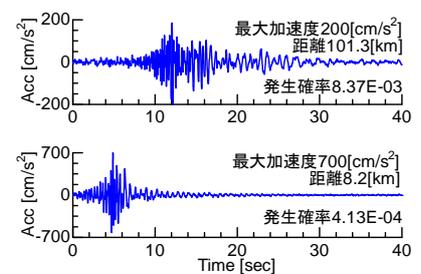


図2 生起確率付き地震動群作成例

キーワード 復旧性照査，トータルコスト，レベル1地震動，生起確率付き地震動群

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

③貢献度の高い断層からの地震動の作成, を行っている. 今回は生起確率付き地震動群として, 15 (加速度の刻み) × 20 (各加速度の出力) × 2 (地盤) = 600 波とした. 最終的に得られた生起確率付き地震動群の例を図2に示す.

(2) 構造物の初期建設コスト, 損傷コストの算定

・初期建設コスト 降伏震度, 靱性率を変化させた 12 ケースについて構造設計をした (図3).

設計条件としては, 上部工先行降伏とした. 全ケースに対して直接工事費を算出し, この結果を拡張して, 降伏震度 k_{hy} , 等価固有周期 T , 構造物全体系での靱性率 μ に対して回帰式を作成した.

$$C_I = (44929 \times k_{hy}^2 + 16843 \times k_{hy} + 5319) \times \left(\frac{T_{eq}}{1}\right)^{1.5} \times \left(1 + \frac{\mu - 2.5}{2.5} \times 0.12\right) \quad (2)$$

・直接復旧コスト 直接復旧費は, 損傷レベル, 損傷箇所と補修方法に大きく依存する. 今回の設計では損傷箇所は橋脚く体や柱, 梁に限定するものとする. 表1の損傷レベルと適用される補修工法を想定し, 設計した 12 ケースについて算出, 回帰式を作成している. また施工環境を表現するための倍率係数 b は, 過去の地震被害における復旧コストを参考に $b = 10.0$ とした 4).

・損失コスト 直接復旧費以外の地震損失コストとしては, 地震被害による供用停止で被る運輸収入の減額をイメージした. 今回は供用停止に伴う損失は直接復旧費の k 倍 ($C_{TD} = k \times C_{RE}$) で算定することとした. ここでは既往の地震被害のデータを参考に $k = 2.0$ とした 4).

(3) TC 算定結果, 復旧性照査用ノモグラム算定結果

上記の結果を用いて得られた TC 算定結果の一例 (周期 1 秒, 靱性率 2, 5 の場合) を図4に示す. 本手法によって TC 最小となる構造物を算定できること, 靱性率が大きくなるほどコストが小さくなり, 降伏震度も小さく出来るということ分かる. 上記作業を各周期, 靱性率に対して行い, 各条件の TC 最小降伏震度をプロットした結果を図5に示す. このノモグラムを用いることで, 鉄道構造物において従来から利用されてきた非線形スペクトル法と同様の手法によって TC 最小となる構造物が設計できる. また, 図5には鉄道構造物の設計の際に用いられる L2 地震動の非線形スペクトルを描いているが, 今回得られた結果は, これとほぼ同レベルとなっているのは興味深い結果である.

4. まとめ

本研究ではトータルコストを用いた復旧性照査指法に関する検討として, 東京での RC 橋脚における復旧性照査用ノモグラムを算出した. このノモグラムを用いることで, 簡便に TC 最小となる構造物が設計可能である. 今後は各段階での計算精度向上をはかるとともに, 他の地域, 構造形式において手法の適用を試みる.

参考文献 1) 土木学会・地震工学委員会, 委員会活動報告書, 2003. 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, 1999. 3) 安中他, 第28回土木学会地震工学研究発表会報告集, 2005. 4) 阪神・淡路大震災鉄道復興記録編纂委員会編, よみがえる鉄路, 山海堂, 1996.

表1 想定される損傷と補修方法

損傷箇所	損傷度			
	損傷レベル1	2	3	4
梁	無補修	足場工 ひび割れ注入工	足場工 ひび割れ注入工 かぶり修復	架け替え
く体, 柱	無補修	足場工 ひび割れ注入工	足場工 ひび割れ注入工 かぶり修復 埋戻工	架け替え

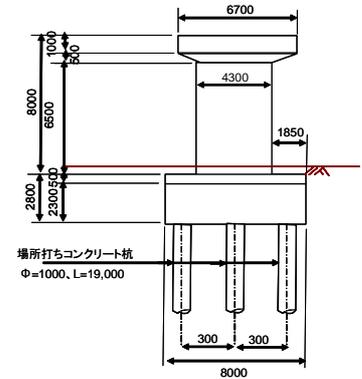


図3 設計例 (khy=0.4)

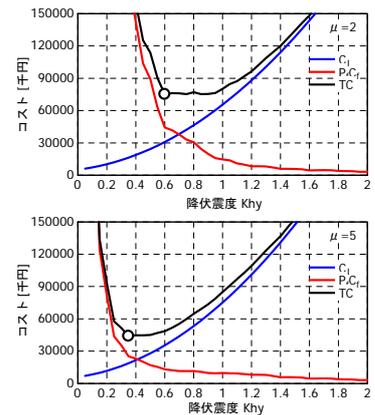


図4 TC 算定例

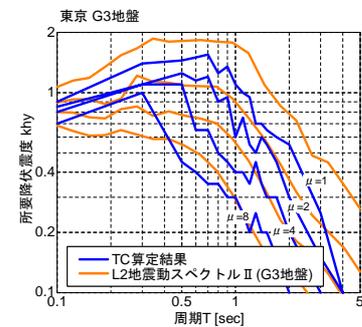


図5 復旧性照査用ノモグラム