

# 下水道処理場の地震に対するリスク評価に関する一考察

— 現状と対策後の定量評価 —

○日本工営（株）中央研究所 正会員 大角恒雄  
 （株）解析技術サービス 正会員 湯浅 明  
 日本下水道事業団 山本賢一  
 東海大学海洋学部 正会員 川上哲太郎

## 1. はじめに

本報では、地震応答解析から例示構造物に対する現状及び耐震補強後の損傷度、補強費・補修費を算定した後、リスク分析を行って求めた耐震補強の効果の定量的評価に関する一考察について述べる。

## 2. 例示条件

対象構造物は、沈殿池と建屋が一体化した2重覆蓋構造物である水処理場である。地震動予測は $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 地震動波形を次のように決めた。地震危険度解析を行い、対象地震の発生頻度（発生確率：P）と当該地点に起こりうる地震規模（マグニチュード：M）をP=30、300、1000年、M=7.0、7.9、8.3とした。地震動波形は南関東地震を想定し、原田・大角式<sup>1)</sup>より人工地震動波形を作成した。耐震基盤での最大加速度はそれぞれ99gal、680gal、800galとなる。損傷度は、半地下構造物への適用を考慮した非線形応答震度法解析（以下地震応答解析という）<sup>2)</sup>を実施し、部材毎に破壊モードを判定後、応答塑性率を求めた。

## 3. 費用の算出と耐震補強の提案

費用の算出と耐震補強の提案を行う為に図-1に示す手順で作業を進める。

①：地震応答解析から補強を行わない（現状の）場合の補修費と補強を必要とする部材箇所を求める。②：部材損傷の程度とその分布を勘案し、対策工法を選定する。③：地震応答解析から補強を行った場合（耐震補強後）の損傷度の確認と補修費を求める。補修費は、対策に費やす

単位部材当りの補修費を損傷レベル（部材曲率で定義）毎に決めておき、応答塑性率から損傷レベルに見合った部材補修費を求める。部材費用の総和が総補修費である。表-1に過去の設計事例に基づき設定した補修費を示す。地震応答解析から求めた現状の応答塑性率1以上の個数と補修費を表-2に示す。現状では多くの部材が損傷し補修費も大きい事が分かる。耐震補強案は、構造物全体の耐力を高める事を目的とし耐震性能を満足するような2工法を選定した（図-3）。工法①が柱・梁材にコンクリートを打増しする工法、工法②が袖壁・バットレスを用いる工法である。耐震補強費を表-2中に示す。次に、工法①、②の断面に対し地震応答解析を行い、求めた応答塑性率1以上の個数と補修費を表-2中に示す。 $L_1$ 地震動の補修費は応答塑性率1以下（ひびわれ）の値である。

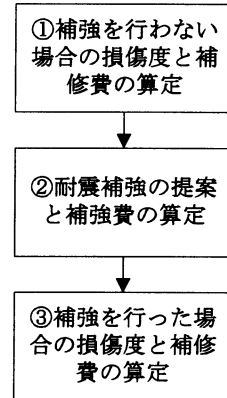


図-1 損傷度と費用を求める作業手順

表-1a 補強を行なった場合の補修費

	梁 (円/m)	壁 (円/m <sup>2</sup> )	柱 (円/m)
曲げによる部材損傷レベル#1	2,500	2,500	2,500
曲げによる部材損傷レベル#2	75,000	130,000	220,000
曲げによる部材損傷レベル#3	90,000	156,000	264,000
曲げによる部材損傷レベル#4	105,000	182,000	308,000
せん断による損傷	60,000	104,000	176,000

表-1b 補強を行わない場合の補修費

	梁 (円/m)	壁 (円/m <sup>2</sup> )	柱 (円/m)	バットレス (円/柱1本)	袖壁 (円/m <sup>2</sup> )
曲げによる部材損傷レベル#1	3,750	3,750	3,750	—	—
曲げによる部材損傷レベル#2	112,500	195,000	330,000	1,170,000	132,600
曲げによる部材損傷レベル#3	135,000	234,000	396,000	1,404,000	159,120
曲げによる部材損傷レベル#4	157,500	273,000	462,000	1,638,000	185,640
せん断による損傷	90,000	156,000	264,000	936,000	106,080

表-2 損傷度と費用一覧

	応答塑性率1以上の個数	総補修費 (円)	補強費 (円)
現状			
L <sub>1</sub> 地震動	0	¥65,950,000	—
L <sub>2</sub> 地震動	30	¥3,844,800,000	
L <sub>3</sub> 地震動	43	¥6,675,000,000	
工法①			
L <sub>1</sub> 地震動	0	¥11,480,000	¥242,699,000
L <sub>2</sub> 地震動	4	¥189,300,000	
L <sub>3</sub> 地震動	6	¥208,260,000	
工法②			
L <sub>1</sub> 地震動	0	¥2,418,000	¥193,296,000
L <sub>2</sub> 地震動	12	¥304,244,000	
L <sub>3</sub> 地震動	13	¥575,357,000	

これより、工法①の方が工法②より補強費用が高く地震被害に対する損傷が小さい事が分かる。

#### 4. リスク評価

現状（無補強時）及び耐震補強を行った場合のリスクRを以下の式より求める。

$$R = \sum_{i=1 \sim 3} (P_i \times C_i) \times A_i + p \times E$$

ここに、P<sub>i</sub> : L<sub>i</sub>地震動の発生確率 (i=1, 2, 3)、C<sub>i</sub> : 現状（無補強時）のL<sub>i</sub>地震動による総補修費、又は補強を行った場合の総補修費 (i=1, 2, 3)、A<sub>i</sub> : 面積比率、p : 耐震補強を行う確率（現状 p=0、補強時 p=1）、E : 耐震補強費である。なお、P<sub>i</sub> × C<sub>i</sub> は年間リスク密度といい、地震動の大きさ毎のリスクを示す。図-3に年間リスク密度と地震動の大きさの関係を示す。L<sub>1</sub>地震動では工法②より工法①の方が耐震補強に効果的であるが、L<sub>2</sub>地震動以上では効果が逆転しており、地震動の大きさに対し工法①の方が脆性的である事が分かる。表-3に年間リスクと耐震補強に対する効果を示す。供用年数Nを40年とした。これより補強費が安い工法②が工法①より効果がある事を示している。

#### 4. まとめ

本報では地震リスクマネジメントを適用して、既設建造物の耐震補強の効果を定量的に評価する手法を模索する事ができた。

[参考文献] 1) 大角恒雄・他：断層モデルを考慮した地震動簡易策定システムの開発、第33回地盤工学研究発表会、1998、  
2) 湯浅・大角恒雄・他：下水道施設に適用する非線形応答震度法の解析手法について、構造工学論文集 Vol. 46A、2000年3月

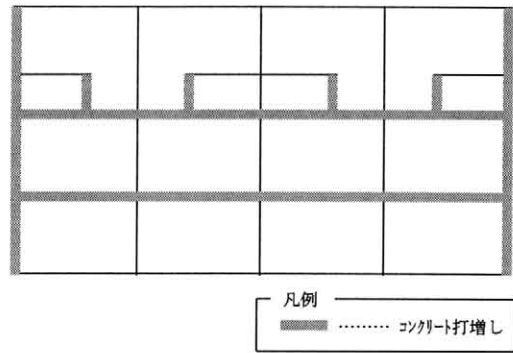


図-2a 対策工法①

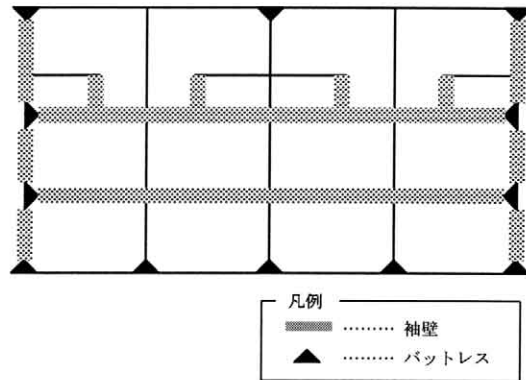


図-2b 対策工法②

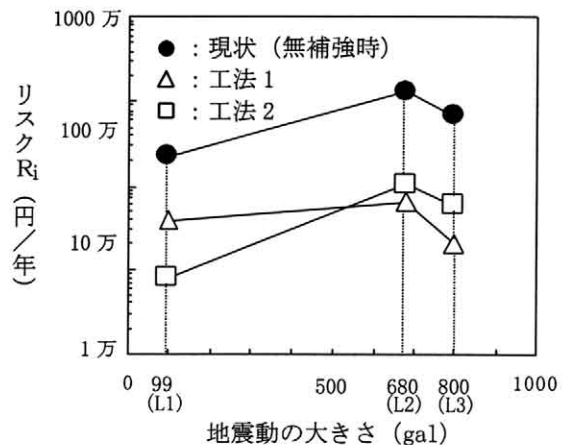


図-3 年間リスク密度

表-3 年間リスク

	①無補強時の年間リスク	②耐震補強後の年間リスク	③年当りの耐震補強効果 (①-②)	④耐震補強費 (万円)	効果 ③・④/N
工法 1	2169	606	1563	2427	1502
工法 2	2169	483	1686	1933	1638