

水道施設の耐震補強に係る概算工事費の算定手法

オリジナル設計(株) 長谷川 高平

全国で頻発する大規模地震による水道施設被害に対する備えとして、基幹水道施設の耐震補強工事が全国で実施されているが、厚生労働省が公表している費用関数に近い簡便さで耐震補強の概算工事費を算定する手法は筆者の知る限り存在しない。そこで本稿では、池状構造物（有蓋）、建築物、管路（離脱防止金具）、水管橋の各耐震補強工事を対象として、全国で公表されている決算書等から実績額データを収集、分析することで概算工事費を簡便に算定する手法を検討したのでその成果を報告する。

Key Words : 耐震補強、概算工事費、水道施設、非線形解析

1. はじめに

ライフラインである水道施設の多くは水道普及率の上昇とともに高度経済成長期から 1990 年代後半にかけて急速に整備されてきた。この時期に整備された水道施設はレベル 2 地震動に基づく現行の耐震基準を満たしておらず、全国で頻発する大規模地震によって度々被害を受けている。そのため、多くの事業者では浄水場や配水池といった基幹構造物、水管橋や基幹管路のような重要管路を中心に既存施設の耐震補強工事を実施している。

一方、水道事業の計画段階における概算工事費の算定において多用される厚生労働省の費用関数¹⁾（以下、厚労省費用関数）は施設全体または一部の新設・更新を前提としており、耐震補強の概算工事費を算定することはできない。また、このような費用関数やそれに類似する形で耐震補強の概算工事費を算定する手法は筆者の知る限り存在しない。そのため、診断や設計を終えていない計画の段階では類似工事の実績を部分的に収集したり、仮想的な設計に基づき積算したり、施工業者に見積もりを依頼したりする等の労力をかけて耐震補強の概算工事費を得ているのが実態と考えられる。

そこで本項では、池状構造物（有蓋）、建築物、管路（離脱防止金具）、水管橋の耐震補強について、全国水道事業の決算書等から収集した工事事例を整理分析することで厚労省費用関数¹⁾に近いレベルの簡便さで概算工事費を算定する手法を検討したので報告する。

2. 基礎データの概要と集計方法

本研究で対象とした水道施設及び収集したデータの概要、概算工事費算定の基礎となる単価の集計方法を次ページの表 1 に示す。単価の形態は厚労省費用関数¹⁾との整合性に可能な限り配慮したものとした。工事实績のデータは各事業者が公表している決算書や事業年報の工事概要欄、入札情報、固定資産台帳、弊社の設計事例から収集した。工事实績は最

表 1 収集データの諸元と工事費の集計方法

項目	池状構造物	建築物	離脱防止金具	水管橋
単価	厚労省費用関数 ¹⁾ に対する比率 (%)	延床面積あたり (円/m ²)	口径別 m 単価 (円/m)	1. 上下部工一体・上部工のみ 厚労省費用関数 ¹⁾ に対する比率 (%) 2. 橋脚・橋台 箇所あたり (円/箇所)
データ 諸元	PC造： 66工事 RC造： 131工事 (うち非線形解析12工事) V=150m ³ ~120,000m ³ ※有蓋構造物のみ	RC、S、SRC造 計73工事	φ50~φ900 計90工事	上下部工一体：50工事 上部工のみ：31工事 橋脚：69工事 (うち増杭あり17工事) 橋台：16工事 (うち増杭あり 9工事)
共通事項	<ul style="list-style-type: none"> ・建設工事費デフレーターにより令和3(2021)年度価格に補正。 ・消費税10%、仮設工事費、付帯工事費込み。 ・請負費のみが対象であり、診断・設計委託費、工事監督費、事務費等は含まない。 			

も古いもので平成 18 年度着工、最新で令和 4 年度着工のものまでが含まれている。このうち、池状構造物については前段の耐震診断業務の仕様書等から非線形解析が適用されたことが確認できた工事が 12 件含まれている。また、水管橋の橋脚及び橋台は工事概要等から増杭の施工が確認できた工事がそれぞれ 17 件、9 件ずつ含まれている。

水管橋の場合、橋長が長くなると多径間となり橋脚の耐震補強も複雑になってくるため、単径間の水管橋と同様の画一的な手法で概算工事費を算定することが難しくなる。そのため、補強対象部材を上部工、橋台、橋脚と 3 部材に分割して積算することで概算工事費を算定する方式も検討することとした。

3. 概算工事費の検討結果

3-1. 池状構造物(有蓋)

池状構造物の耐震補強工事費を厚労省費用関数¹⁾に対する比率で集計した場合の工事件数とその累積度数を図 1 に示す。図からは少なくとも 9 割の耐震補強工事が更新工事費の 50%以下で実施されていることが分かる。以上より、安全側を見た目安として厚労省費用関数¹⁾で算定される更新工事費の 50%を池状構造物の概算工事費とすることに一定の合理性があると考えられる。

なお、目安となる更新費の 50%を

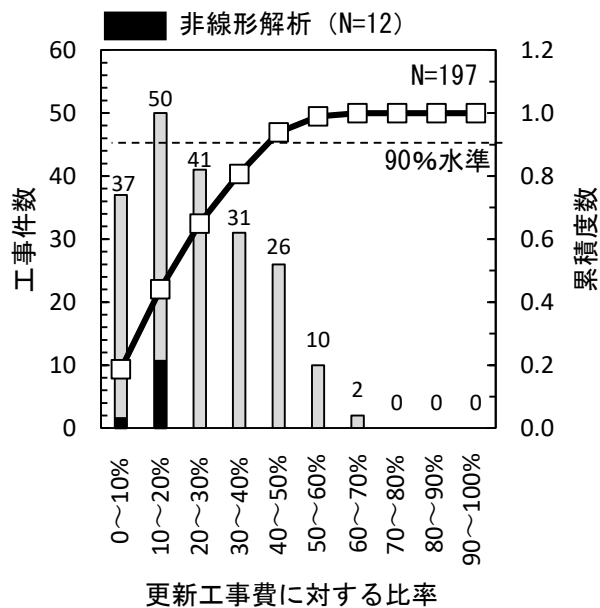


図 1 池状構造物(有蓋)の耐震補強工事費実績

超える工事の内容を追加調査したところ、仮設配水池を必要とした 1 池構造の配水池、及び有効容量 (m³) を変数とする厚労省費用関数¹⁾で算定される更新費用よりも一般的に割高となる高架水槽や配水塔の補強工事で占められていた。これらの工事においては仮設費を別途計上したり、既設構造物の取得価格を別途把握したりするなどの対応が必要となることに留意する必要がある。

また、令和 4 年度に改訂された水道施設の耐震工法指針²⁾では主に RC 構造物を対象とした耐震計算法の選定フローとして、不安定な地盤や複雑な構造、一定規模を有するといった条件を目安に非線形解析を基本とすることが示された。これにより、軟弱地盤の動的解析を伴う等の特異な条件下を除き、曲げ補強量の低減に伴う耐震補強工事費の削減が期待できる。実際、今回集計した非線形解析が適用された 12 工事のいずれもが更新工事費の 20%以下となっており、非線形解析導入の効果が見られる結果となった。最新の耐震工法指針に掲載されている RC 配水池を対象としたケーススタディ³⁾においても、非線形解析に基づく耐震補強工事費は線形解析に基づく耐震補強工事費のおよそ半分となる結果が示されている。以上より、従来の線形解析に基づく耐震補強工事の概算工事費は先述の更新費用の 50%としつつ、非線形解析を適用する場合は 20%~25%を概算工事費の目安にすると良いと考えられる。

3-2. 建築物

建築物の耐震補強工事費実績を延べ床面積あたりの単価として集計した建築物の工事件数を図 2 に示す。平均工事費は図上部に記載のとおり 5 万円/m²程度であるとともに、少なくとも 9 割の工事が 8~9 万円/m²以内で実施されていることが図から読み取れる。以上より、安全側を見た目安として 8~9 万円/m²を建築物の耐震補強概算工事費とすることに一定の合理性があると考えられる。

なお、目安となる 8~9 万円/m²を超える工事の内容を追加調査したところ、その多くが建物内設備の移設を伴うものであった。また、一般に高層の建物は耐震性に乏しく補強量が多くなるためこの影響を考慮する必要性が考えられたが、各種公表データからは階層等に関する十分な数のデータが得られなかった。これらの事情を有する施設の概算工事費算定においては類似する個別工事の抽出比較等によって推定の精度を高める必要がある点に留意が必要である。

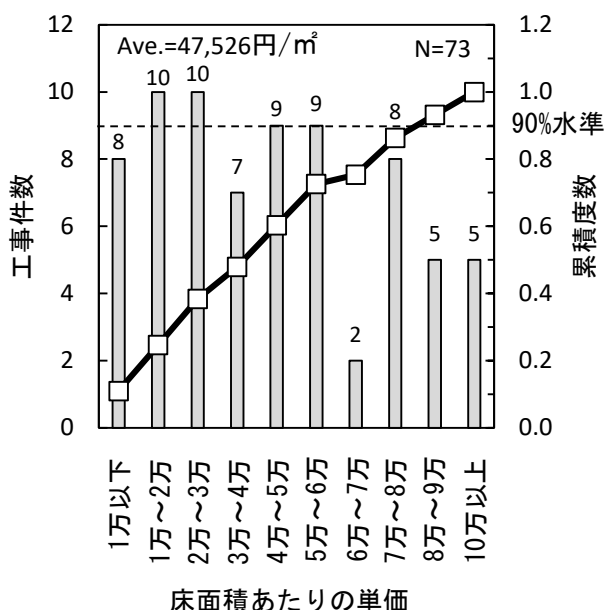


図 2 建築物の耐震補強工事費実績

3-3. 管路（離脱防止金具）

離脱防止金具設置工事の口径別m単価とその回帰式を厚労省費用関数⁴⁾による更新m単価（耐震 DIP、車道、昼間）とともに図3に示す。回帰式は厚労省費用関数⁴⁾でも採用されており、相関係数が最も高かった指数関数を採用している。図からは離脱防止金具設置工事の多くは単純更新の半分程度の費用で施工されていることが読み取れる。ここでは、離脱防止金具の設置工事における口

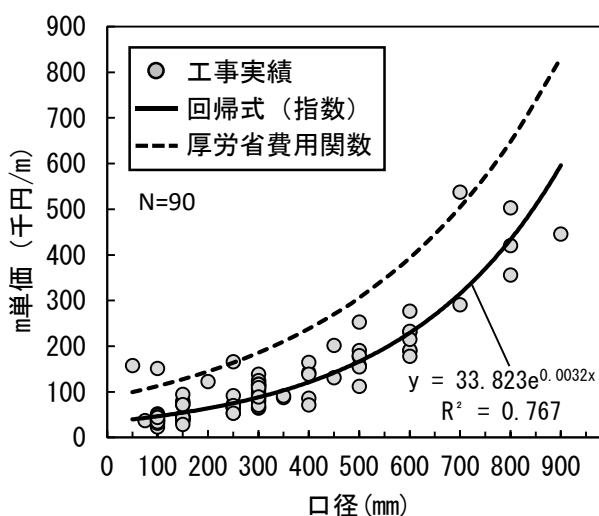


図3 離脱防止金具設置工事のm単価

径別m単価の費用関数として、相関係数の高さと厚労省費用関数⁴⁾との整合も考慮して図中に示されている回帰式を概算工事費の目安とすることに一定の合理性があると考えられる。

なお、離脱防止金具の設置工事は一般的に「φ200、20 箇所」のように発注されているため、以下の式に基づき施工延長を取得し、m単価に換算している。

$$\begin{aligned} \text{施工延長} &= \text{スパン数} \times \text{スパン長} & (1) \\ \text{スパン数} &= \text{設置箇所数} - 1 & (2) \\ \text{スパン長} &= \begin{cases} 4 \text{ m} (\phi 100 \text{ 以下}) \\ 5 \text{ m} (\phi 150 \text{ 以上、} \phi 250 \text{ 以下}) \\ 6 \text{ m} (\phi 300 \text{ 以上}) \end{cases} & (3) \end{aligned}$$

また、一部の工事は更新費用を上回るものも存在しているが、今回のケースは設置箇所数が極端に少ないものであり、箇所数に関わらず発生する重機や工具等の固定的な費用の影響が卓越している場合もあると考えられる。本費用関数の適用にあたっては、過去の工事实績に基づく平均的な工事費を表していることに十分に留意し、数箇所程度の小規模工事の場合は類似する個別工事の抽出比較等によって推定の精度を高める必要がある点に留意が必要である。

3-4. 水管橋

3-4-1. 概算工事費の目安

水管橋の耐震補強工事費の実績を部材毎に集計した結果を次ページの図4に示す。図4(a)の上下部工一体および上部工のみの耐震補強工事は少なくともその9割以上が厚労省費用関数⁴⁾で算定される更新工事費の50%以下で施工されており、このうち上部工のみの場合は更新工事費の20%以下で施工されていることが図から読み取れる。図4(b)の橋脚の

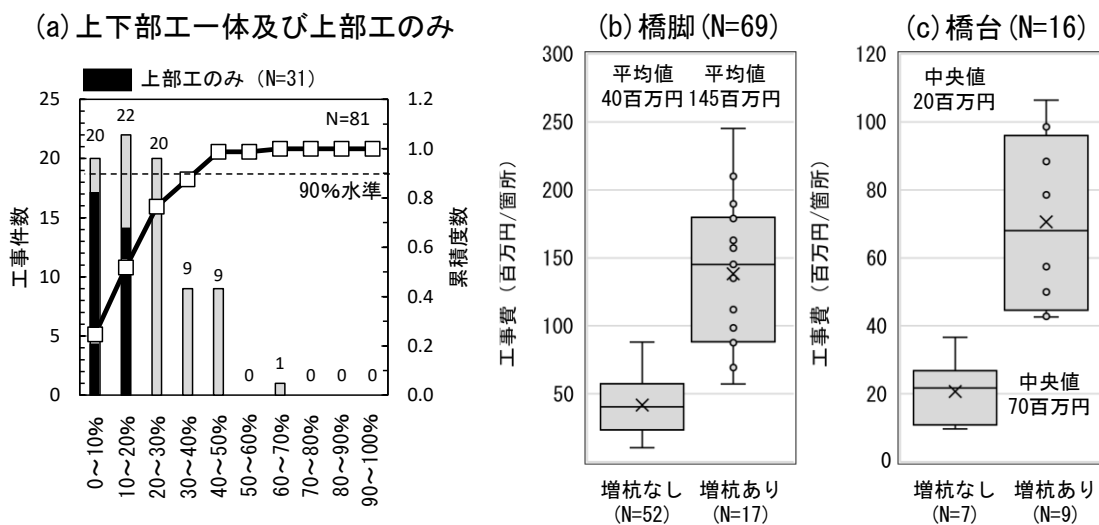


図 4 水管橋の耐震補強工事費実績

場合、増杭が無い工事では平均 40 百万円/箇所、増杭がある工事では平均 145 百万円/箇所と工事費に 3 倍以上の差が確認された。図 4 (c) の橋台はデータ数が少ないことから中央値と平均値の差異が大きかったため、ここでは中央値を基に考察を行うこととするが、こちらも同様に増杭がない場合 (20 百万円/箇所) とある場合 (70 百万円/箇所) で 3 倍以上の工事費の差異が生じている。計画の段階で増杭の要否を判断することは難しく、増杭が必要となった場合の耐震補強工事費も合わせて示し、耐震診断でその要否が明らかとなった段階で概算工事費の精度を高めるというアプローチが最も現実的と考えられる。

ここで、水管橋の耐震補強に係る概算工事費の目安を整理すると、上下部工一体の場合は厚労省費用関数¹⁾で算定される更新工事費の 50%、上部工のみの場合は厚労省費用関数¹⁾で算定される更新工事費の 20%、橋脚は 40 百万円/箇所、橋台は 20 百万円/箇所、下部工は増杭が必要となった場合に 3 倍程度の割増が必要になると解釈することができる。

3-4-2. 多径間の水管橋を想定した計算例

水管橋は 2. 基礎データの概要と集計方法で述べたように、橋長が長くなると多径間となり橋脚の耐震補強が複雑となるため、高い精度を保ちながら単径間の水管橋と同様の画一的な手法で概算工事費を算定することが難しくなる。そこで耐震補強箇所を上部工、橋脚、橋台と分割し、積み上げ方式で概算工事費の算定を試みた。単径間の 3 橋も含む計 13 橋を対象とした積み上げ方式による計算結果を次ページの表 2 に示す。

表 2 を見ると、黄色でハイライトされた単径間の水管橋は更新費に対する耐震補強費の比率がいずれも先述の上下部工一体の目安である 50% を超えており、積み上げ方式の適用が好ましくないことが読み取れる。一方、多径間の水管橋は更新費¹⁾に対する耐震補強費の比率が 30%~49% と目安となる 50% 以下に収まるとともに、橋台や橋脚数の違いによる概算工事費の多様な変化を表現することが出来ている。また、参考として増杭が必要となる

表 2 部材別積み上げ方式による水管橋の耐震補強工事費の計算例

形式	計算諸元				概算補強費 (百万円)					更新費 (百万円)	(参考) 増杭あり	
	口径 mm	延長 m	橋台 数	橋脚 数	上部工	橋台	橋脚	合計	対 更新費		概算補強費 (百万円)	対 更新費
					更新の20%	20百万円/箇所	40百万円/箇所					
アーチ	900	188	2	2	164	40	80	284	35%	820	524	64%
アーチ	800	300	1	7	237	20	280	537	45%	1,183	1,137	96%
トラス	1500	89	2	1	122	40	40	202	33%	611	362	59%
ランガー	800	585	2	9	461	40	360	861	37%	2,306	1,661	72%
トラス補剛	700	125	2	1	88	40	40	168	38%	441	328	74%
トラス補剛	1100	170	2	2	177	40	80	297	34%	883	537	61%
トラス補剛	1000	70	2	1	67	40	40	147	44%	334	307	92%
トラス補剛	1200	284	2	3	319	40	120	479	30%	1,594	799	50%
トラス補剛	700	400	2	6	282	40	240	562	40%	1,410	1,122	80%
パイプビーム	1300	78	2	1	56	40	40	136	49%	279	296	106%
パイプビーム	700	28	2	0	12	40	-	52	88%	59	132	224%
パイプビーム	1200	27	2	0	18	40	-	58	64%	91	138	152%
フランジ補剛	500	23	2	0	12	40	-	52	86%	60	132	218%

注 1) 費用関数が無いアーチ形式やランガー形式はトラス補剛形式の費用関数で代替している

注 2) 増杭がある場合における橋台と橋脚の補強費はそれぞれ60百万円/箇所、120百万円/箇所と3倍に増額している

場合の概算工事費を表 2 右側に示すが、更新費に対する耐震補強工事費の比率がいずれも 50%を超えており、100%を超えるケースも存在する。本論文執筆時点において、レベル 2 耐震基準の適用開始から既に 25 年が経過しており、耐震性を有さない水管橋も竣工後 25 年ないしは 30 年が経過しているものと考えられる。したがって、増杭も含めた耐震補強が必要となった場合、残存寿命を踏まえた上で架け替えも視野に対策を検討すべきであることを算定結果が示唆していると見ることができる。

4. おわりに

本稿では、池状構造物（有蓋）、建築物、管路（離脱防止金具）、水管橋の各種耐震補強工事を対象に決算書等の公表データを中心に工事費実績額を収集、整理することで厚労省費用関数¹⁾に近い簡便さで概算工事費を算定する手法を検討した。本稿で示された概算工事費の目安の利用にあたっては、今回集計されたデータ諸元や対象施設の特性を十分理解し、必要であれば補正を適用することで精度を高めるべきであることをここに付記しておく。最後に、本稿で示した検討成果が全国の水道施設の計画の実務で活用され、水道施設耐震化の推進に多少なりとも貢献出来れば幸甚である。

【参考文献】

- 1) 厚生労働省：水道施設の再構築に関する施設更新費用算定の手引き，平成 23 年 10 月。
- 2) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 2022，Ⅰ本編，pp.48-50, 2022。
- 3) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 2022，Ⅱ参考資料編，pp.80-82, 2022。
- 4) 厚生労働省，日本水工設計：平成 31 年度 水道施設の適切な資産管理の推進のための調査業務 報告書，p.4_26，令和元年 10 月。