

給水塔の耐震診断について

山田 真一郎¹

¹奈良県御所市産業建設部事業推進課（〒639-2298 奈良県御所市1番地の3）

給水塔は、奈良県耐震改修促進計画の中で、耐震診断・耐震改修を行う対象とされていない。しかし、周辺住民の安全性を考慮することや、非常時の給水施設としても活用されることを踏まえ、その安全性について確認しておくことが重要である。また、平城団地の給水塔は、給水タンクの頂部が円盤状となっているため、他の給水塔に比べ、地震による影響が大きい。このことから、耐震改修の必要性の有無を判断するため耐震診断を行った。

本論文では、給水塔の耐震診断について、平城団地の給水塔の耐震診断業務の事例から、検討を進める上での課題及び検討案について述べる。

キーワード 給水塔，耐震診断，解析手法，追加検討

I. はじめに

給水塔とは、団地や工場など、一定の区域に安定した水圧と水量で水を送るための施設である。図1のとおり、給水対象より高い塔を建て、その頂部に大きな水槽を設けてポンプで水を貯め、重力を利用して給水するしくみとなっている。給水塔の性質上、周囲の給水対象の建物より、高さのある施設となるため、外観にも工夫が凝らされ、様々な色や形状の給水塔が生まれている。その中でも、図2のとおり平城団地の給水塔は、県営住宅の団地にある給水塔の中で唯一円盤型となっており、地面に突き刺さった六角ボルトのような外観と、やぐら型の要素もある。また、壁はなく、床、柱及び梁で構成され頂部の貯水タンク部分が円盤型となっている。



図2 平城団地給水塔

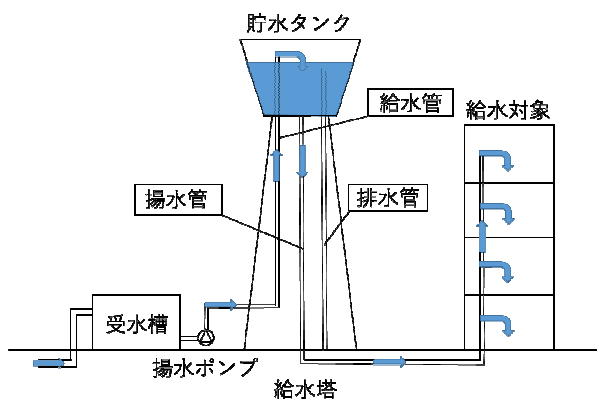


図1 給水塔のしくみ

II. 耐震診断について

平城団地の給水塔は、1979年に建てられた塔状で高さのある工作物である。地震発生時には、転倒により周囲に多大な被害を与える可能性があるため、その安全性について確認しておくことが重要である。給水塔は、工作物であるが、周辺住民の安全性を確認するために、耐震診断を行うこととした。また、2007年に策定された「奈良県耐震改修促進計画」の中では、新耐震基準適用以前の構造基準で設計・建築された既存建築物に対して整備目標を掲げ、耐震化を促進している。耐震改修促進計画で規定されている耐震化の促進を図る建築物の条件及び総合的な安全対策を図る項目は次のとおりとなっている。

- (1) 1981年6月の新耐震基準適用以前の構造基準で設計された既存建築物の中で「住宅」「多数の者が利用する建築物等」及び「公共建築物」
- (2) 現行基準に適合していない「多数の者が利用する建築物等」
- (3) 居空間内の安全対策・エレベーター、エスカレーター等の安全対策・工作物等の安全対策・大規模空間の天井崩落対策

給水塔については、(1) から (3) に該当しないため、奈良県で策定している耐震化の促進を図る建築物ではない。しかし、給水塔は、塔状の工作物であるため、転倒により周囲に多大な影響が及ぶ可能性があり、非常時の給水施設としても重要と考えられる。耐震診断を行う上で、給水塔のような頂部に重量物のある工作物の耐震診断にあたっては、まだ県内では事例がなく、参考にできる資料も少ない。そのような中で昨年度、耐震診断を行ったのが、平城団地の給水塔である。本論文では、給水塔の耐震診断について、平城団地給水塔の耐震診断の事例から、構造耐震指標であるIs値を算出するにあたり、検討を進める上での問題点及び検討案について述べる。

Ⅲ. 耐震診断対象工作物

表1に、本論文の対象とする平城団地の給水塔の概要を示す。2層～10層が4本柱及びび梁、スラブで構成されており屋上に円盤状の水槽がある。屋上の水槽容量は最大48m³である。

表1 対象工作物の概要

| | |
|------|-----------|
| ・名称 | 県営住宅平城団地 |
| ・所在地 | 奈良市秋篠町 地内 |
| ・竣工年 | 昭和54年 |
| ・構造 | SRC造 |
| ・高さ | 33.3m |
| ・階数 | 地上9階（10層） |

Ⅳ. 耐震診断の方針及び解析手法

耐震診断とは、建物の保有する耐震性能を構造耐震指標Is及び非構造部材耐震指標INの2種類の指標により数値で評価することである¹⁾。本工作物は、屋内的用途が発生しないため、建築基準法で定義されている建築物ではないが、構造部材が床、柱及びび梁で構成されているため、耐震診断を行ううえでは、建築物として取り扱うこととする。今回は耐震診断を行う上で、調査職員として

以下の現状及び疑問点を踏まえ、診断方針の検討及び手法の整理を行った。また、一般的な構造耐震指標Is値の算出方法として、(1)式に示す。Is値は、各階の梁間方向、桁行方向それぞれについて、(1)式により算出し、要求するIs値である0.6を超えていること確認する。

$$I_s = E_0 \times SD \times T^D \quad (1) \text{式}$$

E₀ : 保有性能基本指標
SD : 形状指標 (建物の形状)
T : 経年指標 (劣化の程度)

$$E_0 = 1/A_i \times C_0 \times F_0 \quad (2) \text{式}$$

A_i : 地震層せん断力分布係数
C₀ : 強度指標 (部材の強さ)
F₀ : 靱性指標 (部材の粘り強さ)

(1) 調査の結果と設計図面による建物の構造的特性

今回耐震診断の対象となる給水塔は、現地調査の結果、設計図面と整合性がとれていた。設計図面及び現地調査により確認できる構造的特性は以下のとおり。

- ・2層～10層が4本柱で構成されている。
- ・塔状比 (幅に対する高さの割合) が大きい。
- ・頂部に重量物 (水槽) が存在する。

(2) 解析手法・診断手法の整理

確認できた構造的特性を考慮すると、以下の耐震診断、解析の手法を検討する。

a) 地震層せん断力分布係数 (A_i値) について

A_i (地震層せん断力分布係数) とは、図3のとおり、地震力の高さ方向の分布を便宜的に決めた値のことで、1つの建築物の中で1階と比べた際に、上階が何倍揺れるかを表し、また固有周期Tが長い (=高層の建物) ほど大きくなる特徴を有する。また、上記(2)式のとおり、地震層せん断力分布係数 (A_i値) により、建築物の保有性能が低減され、Is値に大きく影響することが分かる。

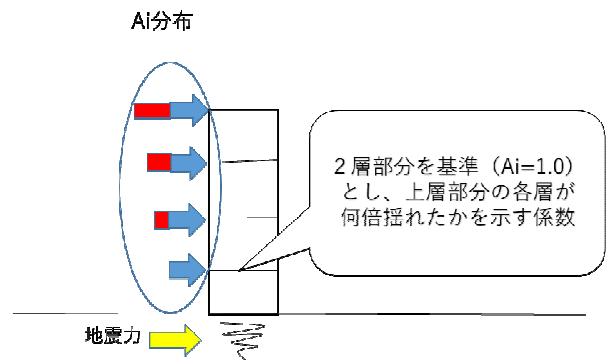


図3 地震層せん断力係数 A_iについて

b) 地震層せん断力分布係数（Ai値）の算出方法の検討

一般的な、地震層せん断力係数（Ai値）の算出方法は、H19国交告597号第3告示式により規定されている。算出結果は表2のとおり。

表2 算出結果（Ai値）

| | | |
|-------|-------|-------|
| 2層 | 3層 | 4層 |
| 1.000 | 1.253 | 1.317 |
| 5層 | 6層 | 7層 |
| 1.379 | 1.442 | 1.509 |
| 8層 | 9層 | 10層 |
| 1.579 | 1.654 | 1.721 |

考察：各層の地震層せん断力係数（Ai値）をもとに、構造耐震性能指標であるIs値を算出するが、告示式によるAi値の算出方法の特徴としては、本来、各階の重量及び層剛性が概ね均一な建物を想定して提案された算出方法である。特殊構造特性を有する平城団地給水塔の場合は、Is値を適切に評価するために、Ai値の算出方法について検討する必要がある。

一般的な算出方法である、告示式による算出方法も含め、考えられる算出方法を抽出し、どの算出方法を採用すればAi値を適切に算出できるか、表3のとおり特徴を整理し、比較検討を行った。

表3 Ai値の各算出方法による特徴の比較

| | 汎用性 | 周期精度 | 形状 | 信頼性 |
|-------------------------|-----|------|----|-----|
| ①告示式 | ◎ | ✖ | △ | △ |
| ②清算法 ²⁾ | △ | ◎ | △ | ○ |
| ③容器構造解析指針 ³⁾ | ✖ | ○ | ◎ | ○ |
| ④その他の算出方法 | ✖ | - | △ | ✖ |

c) 各算出方法の特徴

①告示式

一般的な階数、形状に対して行える解析手法で周期を略算で仮定している。

②清算法²⁾

固有周期を精算した手法である。

③容器構造解析指針³⁾

球形タンク支持構造等に対して行える解析手法である。」

④その他の算出方法

研究段階の解析手法であるため、適用が難しい。

方針：上記のとおり、④以外の算出方法については、特徴が様々あり、どの算出方法を採用すれば適切なAi値が算出できるか判断が難しい。このことから、①～③すべての、算出方法によりAi値を求め不利側の値を採用することとする。表4に各解析手法による算出結果を示す

表4 各解析手法による算出結果（Ai値）

| | ①告示式 | ②採算法 | ③容器 |
|-----|-------|-------|-------|
| 2層 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 3層 | 1.253 | 1.517 | 1.399 |
| 4層 | 1.317 | 1.686 | 1.515 |
| 5層 | 1.379 | 1.850 | 1.617 |
| 6層 | 1.442 | 2.009 | 1.708 |
| 7層 | 1.509 | 2.162 | 1.787 |
| 8層 | 1.579 | 2.301 | 1.850 |
| 9層 | 1.654 | 2.411 | 1.892 |
| 10層 | 1.721 | 2.454 | 1.905 |

結果：精算法により算出したAi値が最も不利側となり、その値を採用した。

上記結果を用いて、(1)式及び(2)式により構造耐震指標であるIs値を算出すると表5のとおりとなった。10層のうちIs値が最小の値である0.89が要求する耐震性能である0.6を満足していることを確認した。

表5 算出結果（Is値）

| 階層 | Is値 |
|-----|------|
| 2層 | 2.08 |
| 3層 | 0.89 |
| 4層 | 1.44 |
| 5層 | 1.34 |
| 6層 | 1.31 |
| 7層 | 1.31 |
| 8層 | 1.21 |
| 9層 | 1.19 |
| 10層 | 1.78 |

V. 追加検討

考察：本来、耐震診断での検討項目ではないが、図4のように、本施設は、一般的な建物に比べ塔状比が大きく、頂部に重量物が積載していることから地震時に水平力が加えられた場合、崩壊の仕方として基礎の回転（浮き上がり）の有無について確かめる必要がある。下記の3とおりの方法で、保有耐震性能における転倒モーメントを算出し、本施設が保有する抵抗モーメントとの比較を行う。

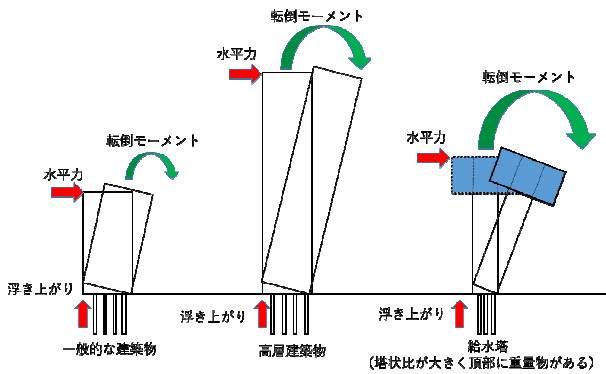


図4 転倒モーメントの検討

- (1) 清算法²⁾によるAi値を考慮した転倒モーメント
- (2) 容器構造解析指針³⁾によるAi 値を考慮した転倒モーメント
- (3) 模擬地震波を用いた振動解析による転倒モーメント

方針：各層の終局せん断耐力から転倒モーメントを算出する方法が一般的であるが、全層が、終局せん断耐力に同時に達している状態は、現実的ではないと考えられる。よって(3)による転倒モーメントを主として捉え、(1)、(2)との

差違も考慮して検討を行う。(3)による模擬地震波は、ELSENTORO(1940)、TAFI(1952)、八戸(2010)の3波を使用する。

各ケースによる基礎底における転倒モーメント算出結果

- (1) Mt=66877kN・m
- (2) Mt=57051kN・m
- (3) Mt=69497kN・m

結果：(1)、(2)、(3)による転倒モーメントを比較した結果、最も転倒モーメントの値が大きかったのは、模擬地震波を用いた振動解析を行った値となった。その値と、本施設が保有する抵抗モーメントを比較し、抵抗モーメントが大きいことを確認した。

$$173745\text{kN}\cdot\text{m} \geq 69497\text{kN}\cdot\text{m}$$

(本建築物が有する抵抗モーメント)

VI. おわりに

以上の診断結果により、平城団地の給水塔は、耐震性能があることが分かった。今回の平城団地の地給水の耐震診断にあたっては、診断事例がないなか、給水塔特有の性質及び形状に沿った解析手法の検討や、転倒を考慮した追加検討を行ったことで、より適切な耐震性能の判定ができた。

参考文献

- 1)財団法人日本建築防災協会：2001年改正版 鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説
- 2)国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所：2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書
- 3)日本建築学会：容器構造設計指針・同解説