

津波避難ビルの構造安全性の確認方法の提案

津波対策 津波避難ビル 構造安全性
構造耐力照査 一次判定 判定図

正会員 ○梅本貴大*
会員外 前本尚二**
会員外 井深 聡***

1.はじめに

津波災害から命を守るための避難施設である津波避難ビルについては、平成17年6月に内閣府が作成した「津波避難ビル等に係るガイドライン」を参考に、各地で指定や整備が進められてきた。しかし、平成29年7月に同ガイドラインが廃止されたことにより、津波防災地域づくりに関する法律の技術的基準(国土交通省告示第1318号)(以下、法告示)に基づき、構造安全性を確認する必要性が生じた。名古屋市では、数百に及ぶ津波避難ビルが指定されていることから、多数の施設の構造安全性を効率的かつ確実に確認する方法の確立が求められた。本稿では名古屋市において検討を行った、津波避難ビルの構造安全性の確認方法を紹介する。

2.構造安全性の要件

法告示に基づき、次の事項を要件とする。

- ・新耐震設計基準(S56.6.1 施行)に適合、又は耐震診断によって耐震安全性が確認されていること。
- ・建築物の所在地において想定される津波に対し、建築物が倒壊、転倒、滑動するおそれがないこと。

3.構造安全性確認の流れ

構造安全性の確認は、建築物や津波に関する基本情報による一次判定、個々の詳細情報による二次判定の順で行う。

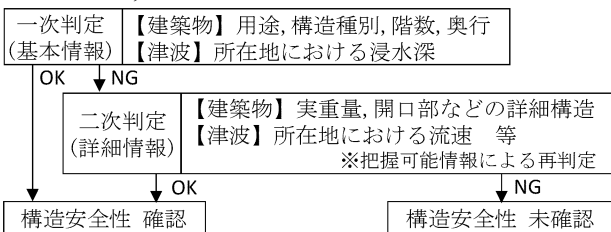


図1 構造安全性の確認フロー

本稿では、一次判定の方法を中心に紹介する。一次判定では、判定に用いる条件(津波波力、建築物重量、浮力)を厳しい判定となるよう設定する。また、建築物の長辺面に津波が作用する場合を想定し、単位幅(1.0m)で判定を行う。

4.構造安全性の確認方法

4.1 一次判定に用いる津波波力

一次判定に用いる津波波力 T は、倒壊の場合は(1)式で、転倒、滑動の場合は(2)式で算定する(図2 概略図)。なお、一次判定では、開口部による津波波力の低減は行わない。

$$T = \frac{1}{2} \left(ah - \frac{H}{2} \right)^2 \rho g \quad (\text{kN/m}) \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{2} (ah)^2 \rho g \quad (\text{kN/m}) \quad (2)$$

ここで、 ρ は水の単位体積質量(t/m^3)、 g は重力加速度(m/s^2)、 a は水深係数、 h は浸水深(m)、 H は1階の階高(m)である。 H は

市建築物データの階高平均値より3.5mとする。

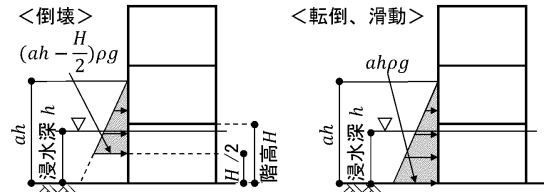


図2 構造安全性の判定に用いる津波波力

水深係数 a は法告示等¹⁾²⁾³⁾を基に、表1のとおりとする。名古屋市では、名古屋港高潮防波堤により津波波力の軽減が期待できるため、 $a=3.0$ の地域はなく、海岸・河川からの距離、及びフルード数により水深係数を設定する。

表1 水深係数の設定

建築物所在地の条件	水深係数 a
海岸・河川から500m未満、かつ、フルード数「 $Fr \geq 1$ 」	2.0
上記以外 海岸・河川から500m未満、かつ、フルード数「 $Fr < 1$ 」 海岸・河川から500m以上	1.5

$$Fr = \frac{v_{max}}{\sqrt{gh_{max}}} \quad (3)$$

ここで、 Fr はフルード数、 v_{max} は所在地における最大流速(m/s)、 h_{max} は所在地における最大浸水深(m)である。

4.2 一次判定に用いる建築物重量

一次判定に用いる建築物重量は、表2に示す建築物の単位床面積当りの重量に、建築物の階数、奥行を乗じて算定する。表2は、建築物荷重指針を活かす設計資料¹³⁾に示されている用途及び構造種別毎の重量の平均値から、標準偏差を差し引いた値である。同資料に記載のない基礎の重量は、1階の重量と同じ値を用いる。なお、階高が低い建築物については、建築物重量が過大とならないよう階数補正を行う。

表2 建築物重量算定用の単位床面積当りの重量(kN/m^2)

用途	住宅			事務所	
	RC造	SRC造	S造	RC造	SRC造
最上階	7.7	10.7	5.5	11.7	10.5
一般階	10.7	11.1	5.7	11.2	10.8
1階	10.2	12.5	3.6	11.1	11.2
基礎	10.2	12.5	3.6	11.1	11.2

4.3 一次判定に用いる浮力

浸水した建築物外形分の体積に相当する水重量とする。

4.4 倒壊の判定

(4)式を満たす場合、建築物は倒壊に対し安全と判定する。

$$Q = Z \cdot R_t \cdot C_0 \cdot A_i \cdot W > T \quad (\text{kN/m}) \quad (4)$$

ここで、 Q は1層の地震層せん断力(kN/m)、 Z は地震地域係数(名古屋市は1.0)、 R_t は振動特性係数(1.0)、 C_0 は一次設計に用いる標準せん断力係数($C_0=0.2$)、 A_i は地震層せん断力の高

さ方向の分布係数(1層は1.0), W は1層以上の建築物重量(kN/m), T は津波波力(kN/m)である。

建築物の水平耐力が津波波力 T よりも大きければ,建築物は倒壊しないが,個々の建築物の水平耐力を確認できない場合が想定されることから,水平耐力よりも小さい,一次設計の地震層せん断力 Q により判定することとした。

4.5 転倒の判定

(5)式を満たす場合,建築物は転倒に対し安全と判定する。基礎構造が杭基礎の場合には,杭の引抜抵抗が加わるため直接基礎よりも抵抗モーメントが大きくなるが,個々の建築物の基礎構造を確認できない場合が想定されることから,全て安全側の結果となる直接基礎として判定する。

$$(W + W' - F) \cdot \frac{b}{2} > T \cdot \frac{ah}{3} \quad (\text{kN} \cdot \text{m/m}) \quad (5)$$

ここで, W' は基礎重量(kN/m), F は浮力(kN/m), b は建築物の奥行(m)である。

S造で柱脚が露出している場合は,転倒に伴う引張力で柱のベースプレートが基礎から外れる恐れがあるため,S造の場合は,基礎重量 W' を除いた建築物重量で判定する。

4.6 滑動の判定

個々の建築物の基礎構造を確認できない場合が想定されることから,直接基礎,杭基礎の双方について滑動に対する安全性を確保する。直接基礎に関する(6)式,杭基礎に関する(7)式をいずれも満たす場合,建築物は滑動に対し安全と判定する。

$$R_s = \mu \cdot (W + W' - F) > T \quad (\text{kN/m}) \quad (6)$$

ここで, R_s 滑動抵抗力(kN/m), μ は基礎底面と地盤の摩擦係数で,建築物設計において通常用いられる 0.4~0.6 の範囲⁴⁾のうち,下方値である 0.4 を用いる。

$$R_s = Q + k \cdot W' > T \quad (\text{kN/m}) \quad (7)$$

ここで, k は地下部分の設計水平震度($k=0.1$)である。

4.7 判定図の作成

一次判定の構造安全性確認をより簡便に行うため,用途,構造種別,浸水深,水深係数毎に判定図を作成する。図3に住宅,RC造,浸水深2.5m,水深係数1.5の判定図の例を示す。

判定図には,建築物の階数毎に,津波波力と倒壊,転倒,滑動(直接基礎),滑動(杭基礎)の4項目に対する耐力が釣り合う時の建築物の奥行を,グラフで示している。図3の条件において,5階建のRC造住宅は,奥行が6.25m以上あれば,津波に対して構造安全性を有すると判定できる。

5. 構造安全性の確認方法の評価

構造安全性の確認方法の評価のため,実際の建築物の一次判定と二次判定の倒壊,転倒,滑動に対する安全率(耐力:判定式左辺/外力:同右辺)を比較した。市営住宅の比較例として,判定条件を表3に,安全率の比較を表4に示す。

比較結果から,一次判定が建築物の構造安全性を安全側

で判定していること,個々の建築物の詳細情報を加味した二次判定が有効であることを確認した。なお,他に比較したRC造事務所,S造事務所についても同様の傾向であった。

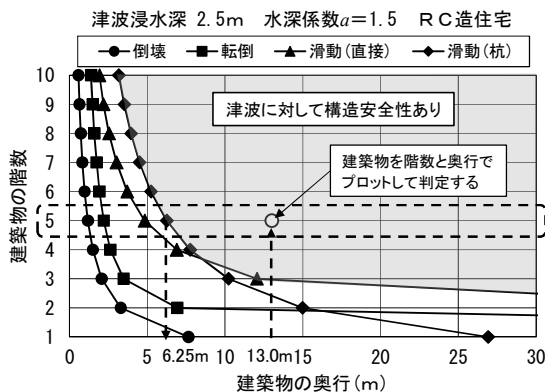


図3 一次判定の判定図(RC造住宅)

表3 判定条件

一次判定	【建築物】用途:住宅,構造種別:RC造,階数:5階 [※] ,奥行:13m 【津波】浸水深2.5m,水深係数1.5
二次判定	条件① 津波流速2.0m/sにより,津波波力を見直し ⁵⁾
	条件② 構造計算書より,建築物重量を見直し(実重量)

※ 階高が低いため,階数補正(実建築物:6階建⇒判定条件:5階建)

表4 一次判定と二次判定の安全率の比較

項目	一次判定	二次判定		一次/二次	
		条件①	条件②	条件①	条件②
i.倒壊	11.04	67.70	16.24	6.13	1.47
ii.転倒	35.02	211.23	41.33	6.03	1.18
iii.滑動(直接)	2.69	15.65	3.18	5.82	1.18
iv.滑動(杭)	2.08	12.08	3.98	5.81	1.91
i~ivの最小値	2.08	12.08	3.18	5.81	1.18

6. おわりに

構造安全性の確認においては,建築物内部への水の流入等による浮力の軽減を考慮した判定も行うこととしているが,紙面の関係上,本稿では紹介を割愛した。

名古屋市において検討した構造安全性の確認方法は,多数の建築物の構造安全性を効率的かつ確実に確認するにあたり,有効な手法になり得ると考える。

謝辞

名古屋市防災会議地震災害対策部会委員として,本手法の検討にご尽力いただいた井戸田教授(名古屋工業大学),川口准教授(三重大学),護特任教授(名古屋大学)に感謝します。

参考文献

- 1) 東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係わる暫定指針,(H23.11.17,国土交通省通知)
- 2) 津波避難ビル等の構造上の要件の解説,(H24.3 国土交通省国土技術政策総合研究所),pp. I -7, PP. I -20
- 3) 建築物荷重指針を活かす設計資料 1,(H28.2,一般社団法人日本建築学会),pp.72
- 4) 建築基礎構造設計指針,(H13.10 一般社団法人 日本建築学会),pp.157
- 5) 建築物荷重指針・同解説,(H27.2 一般社団法人 日本建築学会),pp.275

* 中日本建設コンサルタント(株) 修士(工学)
** 中日本建設コンサルタント(株) 修士(工学)
*** 名古屋市防災危機管理局 修士(工学)

* Nakanihon engineering consultants Co., Ltd., M. Eng
** Nakanihon engineering consultants Co., Ltd., M. Eng
*** Nagoya City Disaster Crisis Management Bureau, M. Eng