

論文 耐浪性評価手法を RC 造建築物群に適用するための諸条件の検討と試算例

川口 楓汰^{*1}・高橋 典之^{*2}

要旨：南海トラフ地震の発生による大規模な津波被害が想定されるなか、津波避難ビルの重要性が認識されており、建築物の耐津波性能を評価する手法や設計法に関する研究が進められている。津波避難ビルに指定される建築物の耐浪性評価に関する研究は進められているが、特定の建物ではない一般建築物群に対する耐浪性の大きな傾向をつかむことができれば、近年構造上の要件が厳格化された津波避難ビルの指定・選定における課題に対し、地域全体として多重化した防災対応に資する情報を提供することにつながるものと考えられる。そこで本論文では、耐浪性評価に関わる諸条件を分析し、一般建築物群の耐浪性評価を試みた。

キーワード：津波, RC 造建築物, 耐浪性評価, 建築物群

1. はじめに

2011 年に起こった東北地方太平洋沖地震では、多くの RC 建造物が津波による被害を受けたことに加え、これから起こると想定される南海トラフ地震及びその他大地震については、それ以上の津波被害をうける可能性が指摘されている。これらを受け、近年津波避難ビルの重要性が高まってきており、各自治体では津波避難ビルの量的確保を急いでいる。各自治体は津波避難ビルの新設のみならず、既存施設から津波避難ビルに適合する建物を指定することで避難場所の確保を目指している。津波避難ビルとして指定するためにはその建物が津波に耐えられることが条件となるため、建築物の耐浪性（耐津波性能）を評価するための耐浪性診断が必要となる。

現行の耐浪性評価手法として、国交省による「津波避難ビル等の構造上の要件の解説¹⁾」に基づいた「耐浪調査」を民間業者へ業務委託する方法や、「静岡県既存建築物（RC 造, S 造）の対津波診断マニュアル²⁾」を用いる方法等があるが、これらの診断方法では、予算及び人的リソースの課題があり、各自治体で運用可能な耐浪性診断手法が模索されているのが現状である。

そこで鶴岡ら³⁾の研究では、入手可能な情報量に応じた適切な診断レベルを選択する耐浪性診断フローを設定するとともに、新たな耐浪性評価手法を提案している。一般に耐浪性評価においては、構造図面のある建物が検討対象となる。一方、一般建築物群に対する耐浪性の大きな傾向をつかむことができれば、近年構造上の要件が厳格化された津波避難ビルの指定・選定における課題に対し、地域全体として多重化した防災対応に資する情報を提供することにつながるものと考えられる。

そこで本論文では、津波浸水想定地域に建つ RC 造建築物群において、津波避難ビルの指定を進めるためのスクリーニング、および、津波避難ビル以外の建物を含む建

物群としての地域全体の耐浪性評価を行う基盤技術の開発を目的として、鶴岡ら³⁾の耐浪性評価手法を一般の RC 造建築物群モデルに適用すべく、建物群の耐浪性に関わる諸条件について分析・検討をおこなった。

2. 耐浪性評価に関する現行の手法

鶴岡ら³⁾が提案した耐浪性診断のフローチャートの概要を図-1 に示す。入手可能な外力作用情報（最大浸水深, 最大流速, 浸水および流速の時刻歴）によって簡易診断と詳細診断の 2 つのルートに分かれる。本論文では、広く一般建築物群に対する耐浪性評価を行うため、簡易診断（最大浸水深および流速を利用できる場合）のルート②に従い評価を行うこととする。

2011 年東北地方太平洋沖の被害調査⁴⁾に基づき津波による建物架構全体の被害を「転倒」「滑動」「倒壊・層崩

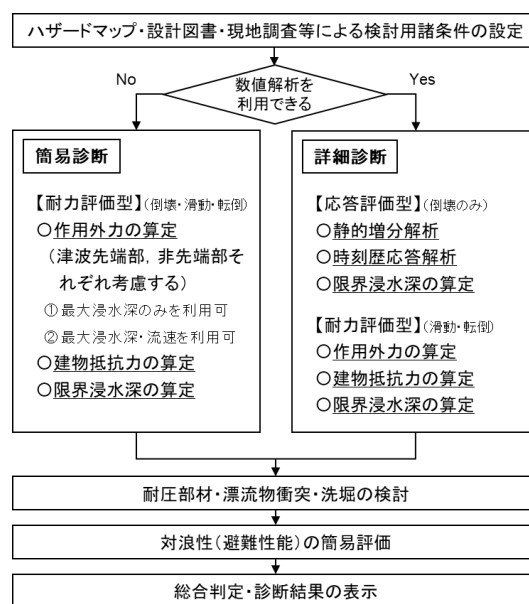


図-1 鶴岡らによる耐浪性診断フロー³⁾

*1 東北大学 工学部 建築・社会環境学科 (学生会員)

*2 東北大学大学院 工学研究科 准教授 博(工) (正会員)

壊」の3種類に分類する。各被害形式に対し架構耐力限界となる「限界浸水深」を算定し、想定浸水深との比を構造耐浪性指標 I_T として式(1)により算定する。

$$I_T = \frac{\min[\eta_{\max 1}, \eta_{\max 2}, \eta_{\max 3}]}{\eta} \quad (1)$$

ここに、 $\eta_{\max 1}$ ：倒壊限界浸水深(m)、 $\eta_{\max 2}$ ：滑動限界浸水深(m)、 $\eta_{\max 3}$ ：転倒限界浸水深(m)、 η ：想定浸水深(m)である。 I_T 指標が1以上となれば建築物の耐浪性が確保されていると判定する。

耐浪性診断では、架構被害型式に応じた津波作用外力と建物抵抗力の比を、想定浸水深と限界浸水深の比に換算評価したものとみえる。

2.1 作用外力の算定

作用外力及び建物抵抗力の算定は、日本建築学会の建築物荷重指針・同解説⁵⁾を参照した。前述したとおり、作用外力の算定において、津波先端部、非先端部による作用外力を考慮する。まず、津波先端部による作用外力を式(2)～(4)により求める。

$$Q_{t1} = \frac{\gamma}{2} \left(a\eta - \frac{h}{2} \right)^2 \rho g B \quad (2)$$

$$Q_t = \frac{\gamma}{2} a^2 \eta^2 \rho g B \quad (3)$$

$$M_w = \frac{\gamma}{6} a^3 \eta^3 \rho g B \quad (4)$$

ここに、 Q_{t1} ：1階にかかる津波波力(kN)、 Q_t ：全体にかかる津波波力(kN)、 M_w ：津波波力による転倒モーメント(kN m)、 γ ：受圧面の開口率による低減率、 a ：水深係数、 η ：最大浸水深(m)、 ρ ：海水の密度(t/m³)、 g ：重力加速度(m/s²)、 h ：1階階高(m)、 B ：建物幅(m)である。なお、波圧高さ $a\eta$ が建物高さを超える場合は、超えた波圧を除外して計算することとする。

津波非先端部による作用外力は式(5)～(7)より求める。なお、津波非先端部による外力は、衝撃荷重ではなく、その後継続する定常流れにおける力である。

$$Q_{t1} = \frac{\gamma C_D}{2} \rho B \left(\eta - \frac{h}{2} \right) v^2 \quad (5)$$

$$Q_t = \frac{\gamma C_D}{2} \rho B \eta v^2 \quad (6)$$

$$M_w = \frac{\gamma C_D}{4} \rho B \eta^2 v^2 \quad (7)$$

ここに、 C_D ：抗力係数、 v ：最大流速(m/s)である。

本論文では、水深係数 a の代わりに波力を静水圧分布に置き換えて得られる等価水深係数 a_q を用いることとした。等価水深係数 a_q は式(8)より求められる。

$$a_q = \sqrt{\frac{C_{D3} v^2}{\eta g}} = \sqrt{C_{D3}} \cdot Fr \quad (8)$$

ここに、 C_{D3} ：津波波力算定のための係数、 Fr ：フルード数である。

2.2 建物抵抗力の算定

架構被害形式（破壊メカニズム）毎の建物抵抗力は、式(9)～(12)により求めた。

$$Q_{u1} = W_b' C_B \quad (9)$$

$${}_s Q_u = \begin{cases} \mu(W_b - Q_z) & \text{(直接基礎)} \\ n_p \cdot \min(Q_{su}, Q_{mu}) & \text{(杭基礎)} \end{cases} \quad (10)$$

$$M_b = \frac{1}{2} L (W_b - Q_z) \quad (11)$$

$$M_p = n_{pt} P_t d_e \quad (12)$$

ここに、 Q_{u1} ：建物1階の保有水平耐力(kN)、 ${}_s Q_u$ ：滑動抵抗力(kN)、 M_b ：見かけの建物重量による抵抗モーメント(kN m)、 M_p ：杭の引き抜き力による抵抗モーメント(kN m)、 W_b ：建物重量(kN)、 W_b' ：建物重量（基礎階を除く）(kN)、 C_B ：層せん断力係数、 μ ：接地面の摩擦係数、 Q_z ：建物に作用する浮力(kN)、 Q_{su} ：杭のせん断耐力(kN)、 Q_{mu} ：杭の終局曲げモーメント時のせん断力(kN)、 n_p ：全杭本数、 L ：建物の奥行(m)、 n_{pt} ：引張側杭本数、 P_t ：杭の引き抜き耐力(kN)、 d_e ：転倒回転中心から引張側の杭重心間距離(m)である。なお浮力については、津波の建物内への流入・非流入を区別してそれぞれ設定することとした。

2.3 限界浸水深の算定

各破壊メカニズムにおける入力外力に対する建物抵抗力の比がすべて1.0以上であれば想定する津波に対して必要な耐浪性を有していると評価できる。鶴岡ら³⁾の研究では、破壊機構別の建物抵抗力に相当する津波外力の浸水深のうち最小のものを限界浸水深として、限界浸水深と想定浸水深の比より耐浪性指標値を定めることで、浸水深規準での余裕度が異なる破壊メカニズムに対しても統一的に表現できるようにしている。

津波先端部の外力作用に対応する限界浸水深については、迫田ら⁶⁾の式を用いて換算する。倒壊・滑動・転倒に対する各指標値をそれぞれ β_1 、 β_2 、 β_3 とする（それぞれ Q_{u1}/Q_{t1} 、 ${}_s Q_u/Q_t$ 、 $(M_b + M_p)/M_w$ で表され、これを耐浪性指標値とここでは呼ぶこととする）と、津波先端部波力に対する限界浸水深 $\eta_{\max}$ は式(13)～(15)で表される。

$$\frac{\eta_{\max 1}}{\eta} = \sqrt{\beta_1} - \frac{h}{2a\eta} (\sqrt{\beta_1} - 1) \quad (13)$$

$$\frac{\eta_{\max 2}}{\eta} = \sqrt{\beta_2} \quad (14)$$

$$\frac{\eta_{\max 3}}{\eta} = \sqrt[3]{\beta_3} \quad (15)$$

津波非先端部の外力作用に対応する限界浸水深については、想定される浸水深と流速から得られるフルード

数を式(16)より算定し、フルード数一定のもと読み替えることで、倒壊に対する限界浸水深は式(17)から求まるものとし、滑動、転倒に対する限界浸水深は（津波先端部波力と同じ）式(14)、(15)から求まるものとした。

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g\eta}} = \frac{v'}{\sqrt{g\eta_{max}}} \quad (16)$$

$$\frac{\eta_{max1}}{\eta} = \frac{h}{4\eta} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{h^2}{4\eta^2} + 4\beta_1 \left(1 - \frac{h}{2\eta}\right)} \quad (17)$$

なお本論文の検討においては、紙面の都合上、図-1のフローチャート終盤に記載されている耐圧部材、漂流物、洗堀の検討や、津波に先行する地震動による損傷の影響等の考慮は割愛することとした。

3. 一般建築物群の耐浪性評価適用に向けた検討

2章で述べた耐浪性評価手法を一般建物群に適用するために必要な一般建物群のモデル化について概略を以下に説明する。

3.1 一般建物群の構造特性のモデル化

本論文で RC 造一般建物群の耐浪性を評価するにあたり、一般建物群の構造特性のモデル化を検討する。具体的には、耐震設計された「通常の建物群」についてのデータを統計分布モデルとして扱うこととし、既往の熊本・境らの研究⁷⁾、および、損害料率算定機構がとりまとめた「住宅の耐震性能に影響を及ぼす要因の調査」⁸⁾を参考に構造特性のモデル化を検討した。

文献 8)には RC の共同住宅 88 棟を対象とした、建設年代、階数等ごとの強度分布およびばらつきのデータがとりまとめられている。図-2 は、データベースのうち階数ごとにベースシア係数の平均値をプロットし累乗近似曲線を導出した例である。

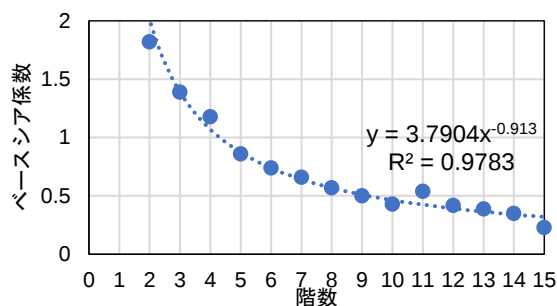


図-2 RC 共同住宅の階数とベースシア係数の関係

3.2 耐浪性評価に必要な追加条件の仮定

文献 8)のデータベースは主に耐震性能を評価するために必要な情報であるため、耐浪性評価に必要な情報が不足している。そこで本論文では、必要な仮定条件を精査し新たな仮定を導入する。耐浪性評価に必要な情報を「基本パラメータ」とし、本論文の以降の検討において

用いるパラメータは、表-1 に示した仮定に基づくものとした。

表-1 基本パラメータ

項目	基本パラメータ	
受圧面幅 B	1 スパン(7m)	
奥行 L	1 スパン(7m)	
開口低減率 γ	0.7	
想定浸水深 η	5m	
想定津波流速 v	7m/s	
規準の水深係数 a	2	
床面積当り重量	12kN/m ²	
ベースシア係数 C_b	図-2 に従う	
階高 h	4m	
建物高さ	4m×総階数	
摩擦係数 μ	直接基礎の場合 0.5	
基礎	4 階以下	直接基礎
	5 階以上	杭基礎
空気だまり体積	津波流入	建物体積をすべて浮力換算
	津波非流入	梁下ふところ深さ 1m×床面積を完全浸水階の浮力に換算
抗力係数 C_D	2	

表-1 に示すように建物の津波の受圧面幅×津波方向の奥行きについては、7m×7m を基本グリッドの最小基準としたが、塔状比が 4 を超える建物にはならないものとし、本論文では建物 8 階以上の場合基本グリッドを 2×2 スパンとした 14m×14m を基本パラメータの最小基準として耐浪性指標の算定を進めることとした。また、開口低減率については、文献 1)を参考に、開口による津波波力の低減効果の下限値である 0.7 を用いることとした。水深係数 a については、文献 1)を参考に、検討建物が海岸から 500m 以内に位置し海岸との間に遮蔽物が存在すると仮定した $a=2.0$ を基本とした。ベースシア係数については、3.1 節で示した構造特性データをもとに、検討する階数ごとに使用する値を定めた。基礎については、検討する建物が 5 階以上の場合に杭基礎を仮定し計算を行うこととした。杭基礎の場合、追加で必要な仮定条件として迫田ら⁹⁾の研究を参考に表-2 に示す条件に従うものと仮定した。

表-2 杭基礎追加条件

終局時耐力	せん断耐力を 0.3ΣW と仮定。
引き抜き耐力	0.2ΣW のせん断応力度 τ を 0.7N/mm ² として杭径を推定。 杭の主筋比を 0.8% として杭主筋断面積を求め、鉄筋降伏応力度 345N/mm ² を乗じて求める。
杭の本数	柱 1 本につき杭 4 本を仮定。
転倒回転中心と引張側杭の重心間距離	奥行の 1/2 の長さを仮定。

3.3 耐浪性評価における変動パラメータ

本論文では、基本的な耐浪性評価における変動パラメータを、建物階数、受圧面幅、奥行、開口低減率、浸水深、津波流速、水深係数の計 6 つに絞り検討対象とした。具体的な設計パラメータの組合せを以下の表-3 に示す。

基本的な耐浪性評価にあたり、下記に示した設計パラメータ以外の項目は、前述の基本パラメータを用いるものとして構造特性を定めて検討することにした。

表－3 耐浪性評価における変動パラメータ

(1)建物の津波受圧面幅の検討	(2)津波方向への建物の奥行の検討
建物高さ：1～14階 受圧面幅：1～6 スパン(7m～42m)	建物高さ：1～14 階 奥行：1～6 スパン(7m～42m)
(3)開口低減率の検討	(4)浸水深の検討
建物高さ：1～14 階 開口低減率：0.7, 0.8, 0.9, 1.0	建物高さ：1～14 階 浸水深：0～15m
(5)津波流速の検討	(6)水深係数の検討
建物高さ：1～14 階 津波流速：0～10m/s	建物高さ：1～14 階 水深係数：1.5, 2.0, 3.0

4. 耐浪性評価適用による検討

2 章で示した耐浪性評価法に、3 章で示した条件を適用し、変動パラメータの検討項目ごとに耐浪性を I_T 指標として算出した結果を図－3～図－14 に示す。ただし前述のとおり、塔状比の制約条件により基本パラメータの基本グリッド最小規準は 1～7 階の建物で 7m×7m (1×1 スパン)、8～14 階の建物で 14m×14m (2×2 スパン) としており、これらを単純に比較することができないためグラフを分けて示した。なお、低層建築物で浮力が建物重量を上回り滑動抵抗力 sQ_u と見かけの建物重量による抵抗モーメント M_b が負の値となる場合は、耐浪性の安全性は担保されないものとして I_T 指標を算出できなかった。

建物の耐浪性指標 I_T は、今回の条件設定の場合、すべての条件において滑動耐力によって決まった。全体的な I_T 指標の変化傾向として 1F～4F の場合と 5F 以上の場合の変化傾向に違いが見られるが、これは基礎の条件設定を、4F までは直接基礎、5F 以上を杭基礎としているからだと考えられる。

図－3 および図－4 は、津波受圧面幅の変化に対して、 I_T 指標の変化を階数別に示した図である。受圧面幅に依らず I_T 指標が等しいのは単位受圧面あたりで検討していることと同義であり、これ自体は当然の結果である。

図－5 および図－6 は、津波方向への建築物の奥行きの変化に対して I_T 指標の変化を階数別に示した図である。津波方向への奥行きの長さが大きくなるほど、 I_T 指標の値も大きくなった。奥行 1～3 スパンの低層の建物は耐浪性の安全は担保されないが、4 スパン以上奥行きのある建物では耐浪性が担保されている。

図－7 および図－8 は、開口低減率の変化に対して、 I_T 指標の変化を階数別に示した図である。開口低減率（開口により作用波力に乘じることができる低減係数）が大きいほど、すなわち、建物の開口率が小さくなるほど、 I_T 指標の値も小さくなった。ほぼ開口のない開口低減率 0.9 以上の 1～7 階の建物では耐浪性が担保されないことが読み取れる。

図－9 および図－10 は、津波による浸水深の変化に対して、 I_T 指標の変化を階数別に示した図である。浸水深が大きくなるほど、 I_T 指標の値が小さくなる結果となった。また、階数の小さい建物においては、浸水深ごとの I_T 指標の結果にがたつきが見られるが、これは、浸水深の大きさが、建物 1 層分の高さを超えるたびに、空気だまり体積による浮力の換算方法に違いが出るため、特に低層の建物においてその変化が「がたつき」として表れ易くなったと考えられる。各階に応じて耐浪性が担保される基準となる浸水深は異なるが、10 階の建物でも 15m 級の浸水深の津波に襲われると、耐浪性の安全は担保されないことが読み取れる。

図－11 および図－12 は、津波流速の変化に対して、 I_T 指標の変化を階数別に示した図である。津波流速の値が大きくなるほど I_T 指標の値は小さくなった。各階に応じて耐浪性が担保される基準となる津波流速は異なるが、8m/s の津波が来ると 7 階以下の建物の耐浪性が担保されないことが読み取れる。

図－13 および図－14 は、水深係数の変化に対して、 I_T 指標の変化を階数別に示した図である。水深係数の変化にかかわらず I_T 指標の値は一定となる結果となった。これは、津波先端部波力と津波非先端部波力のうち津波非先端部の波による作用外力が大きく支配的だったため、水深係数によらない結果を示したと言える。

5. 基本パラメータを用いた建物群の耐浪性評価

3 章で仮定した基本パラメータに対して算出した建物階数ごとの I_T 指標の算出結果を図－15 に示す。本論文で仮定した基本パラメータは、奥行方向のスペンが 7 階建てまでで 1 スパン／8 階建て以上は 2 スパンに決められているなど、あまり現実的とはいえない設定があるため、この点は今後建設統計データをもとに基本パラメータの組合せ方の検討を含めて見直しを図る必要がある。これを踏まえたうえで、RC 造建物群の階数分布が対数正規分布に従うとした既往の研究¹⁰⁾に倣い、e-Stat¹¹⁾の建物データから図－16 に示す RC 造建物群の階数分布モデルを定めた。このとき、図－15 と図－16 の相乗平均を算出し RC 造建物群の平均的な I_T 指標値として求めると 1.06 を得た。

ここで浸水深に着目すると（表－4）、 I_T 指標が 1.0 程度になるのは浸水深が 5～6m であり、7～8m に至ると建物群の I_T 指標は大きく低下していた。国土交通省による東日本大震災の津波被災現況調査結果¹²⁾では、RC 造建物浸水深が 6～8m の区分から、建物が再使用不可能となる全壊の割合が 50%を上回るようになり（図－17）、建物群の実被害率推定において、建物群の平均的な I_T 指標を活用できる可能性が示唆された。

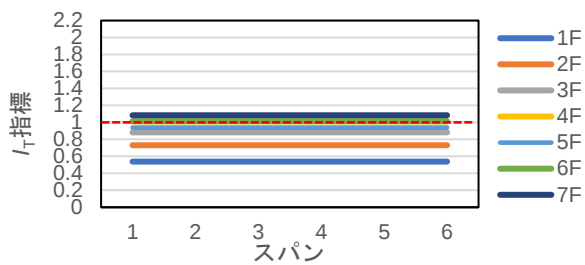


図-3 受圧面幅の検討 (1～7 階)

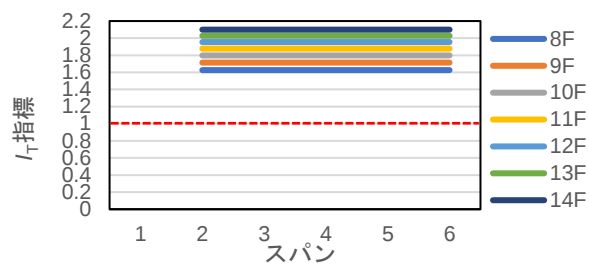


図-4 受圧面幅の検討 (8～14 階)

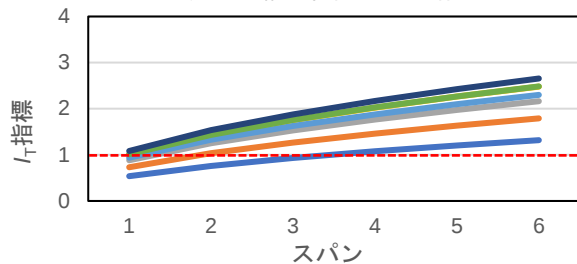


図-5 奥行の検討 (1～7 階)

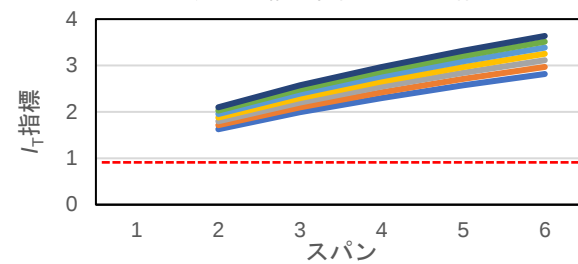


図-6 奥行の検討 (8～14 階)

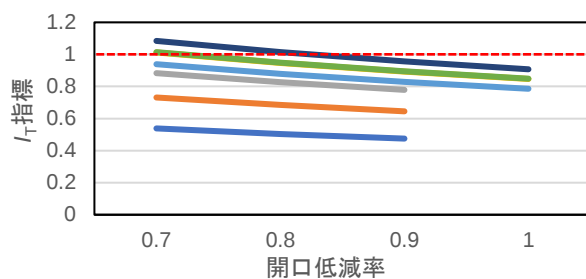


図-7 開口低減率の検討 (1～7 階)

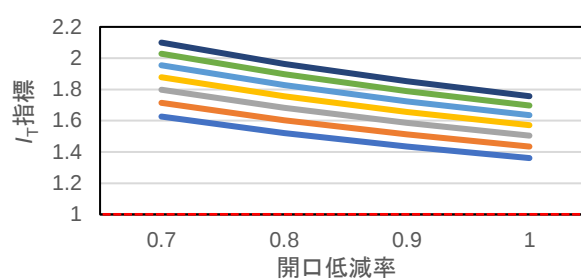


図-8 開口低減率の検討 (8～14 階)

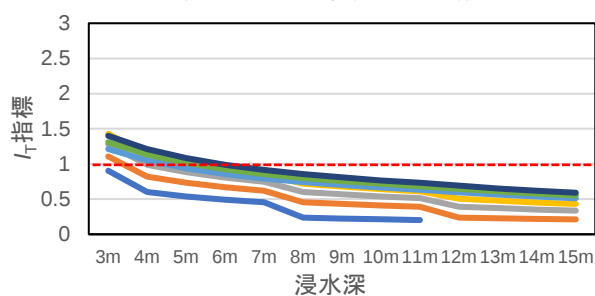


図-9 浸水深の検討 (1～7 階)

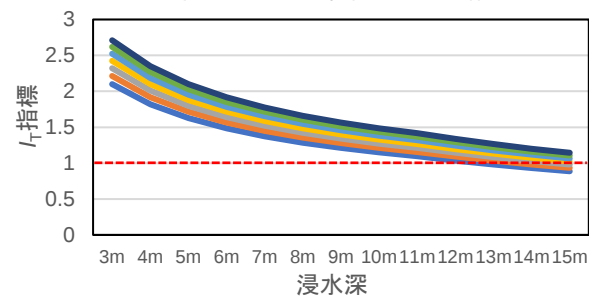


図-10 浸水深の検討 (8～14 階)

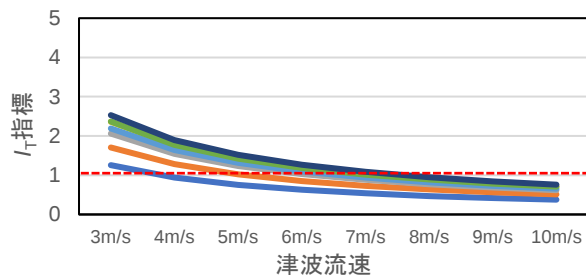


図-11 津波流速の検討 (1～7 階)

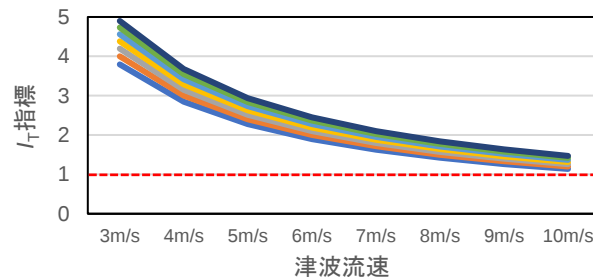


図-12 津波流速の検討 (8～14 階)

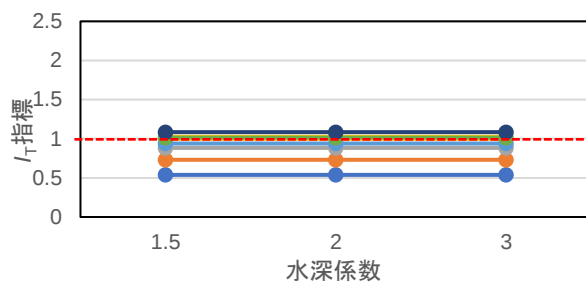


図-13 水深係数の検討 (1～7 階)

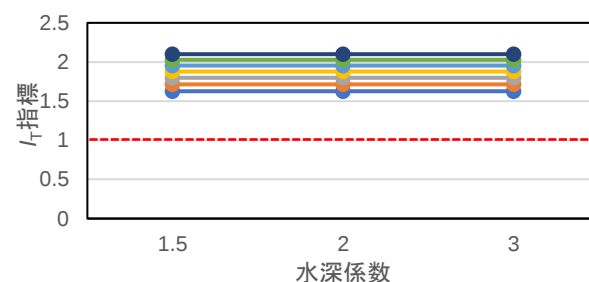


図-14 水深係数の検討 (8～14 階)

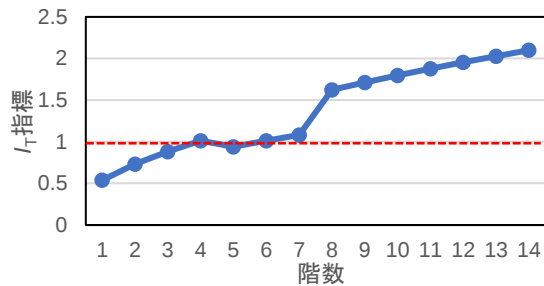


図-15 基本パラメータでの階数別耐浪性変化

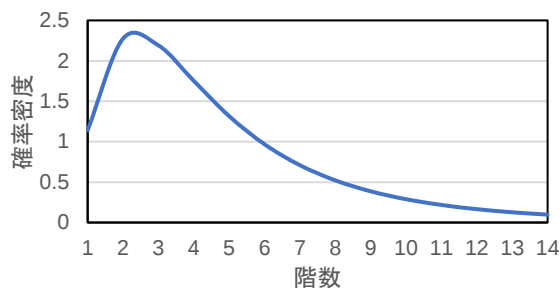


図-16 RC 造建物群の階数別分布モデル

表-4 想定浸水深を変更した場合の建物群 I_T 指標値

浸水深	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m
平均的な I_T 指標	1.45	1.18	1.06	0.97	0.90	0.78	0.74	0.70	0.67

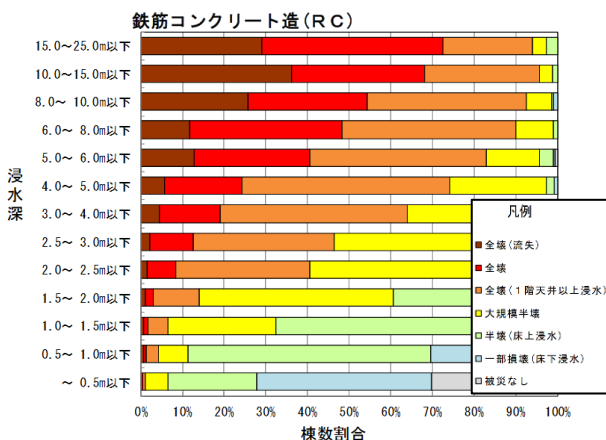


図-17 東日本大震災での RC 造建物津波被害率¹²⁾

6. まとめ

耐浪性評価手法を RC 造建築物群に適用する際の諸条件について分析・検討を行い得られた知見を以下に示す。

- 耐浪性評価手法を RC 造建築物群に適用する際の諸条件について分析し、耐浪性評価に必要な基本パラメータおよび変動パラメータを明示した。また、各パラメータの変化に伴い、耐浪性が担保される値が変化していく様子を定量的に読み取ることができた。
- 基本パラメータに対して算出した建物階数ごとの I_T 指標の算出結果と RC 造建物群の階数分布の相乗平均より RC 造建物群の平均的な I_T 指標値を 1.06 と試算できた。ただし、この値は本論文で仮定した基本

パラメータに現実的とはいえない設定（奥行方向のスペンが 7 階建てまでで 1 スパンなど）が含まれているため、今後、建設統計データをもとに、各地域の特性を反映した基本パラメータの組合せ方を見直し再構築することで、地域の建物群の平均的な I_T 指標値を試算することが可能になると考えられる。

謝辞

本論文は、科学研究費 基盤研究(B) (課題番号: 23H01548, 研究代表者: 高橋典之)) の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 国土交通省国土技術政策総合研究所：津波避難ビル等の構造上の要件の解説，2012.2
- 静岡県建築士事務所協会：静岡県既存建築物(RC 造，S 造)の対津波診断マニュアル，2015.8
- 鶴岡七海，高橋典之，崔琰：鉄筋コンクリート造建築物の耐浪性診断における前駆地震動の影響に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol43，No.2，pp.7-12，2021.7
- 国土交通省 国土技術総合政策研究所・独立行政法人建築研究所：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告，国土技術政策総合研究所資料 No.674/建築研究所資料 No.136，2012.3
- 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説(2015)，2015.2
- 迫田丈志ほか：建築物の対津波性能評価に用いる限界浸水深の簡易算定法，日本建築学会大会学術講演梗概集 2015(構造 I)，Vol.B-1，pp.3-4，2015.9
- 熊本匠，境有紀：鉄筋コンクリート造建物の非構造部材を考慮した実耐力分布，日本建築学会大会学術講演梗概集 2007(構造 II)，Vol.B-2，pp.311-312，2007.7
- 損害保険料率算定機構：住宅の耐震性能に影響を及ぼす要因の調査，2019.3
- 迫田丈志ほか：RC 造建物を対象とした耐津波性能の簡易判定に関する基礎的検討 その 2 簡易手法の提案とその検証，日本建築学会大会学術講演梗概集 2013(構造 IV)，Vol.C-2，pp.651-652，2013.8
- 境有紀，熊本匠：地震動の方向性の定量的な検討と地震被害推定のための平均方向の提案，日本地震工学会論文集，第 10 巻，第 5 号，pp.1-20，2010.11
- 総務省統計局，独立行政法人統計センター：政府統計の総合窓口(e-Stat)，<https://www.e-stat.go.jp/> (2024 年 1 月 4 日閲覧)
- 国土交通省：平成 23 年(2011 年) 東日本大震災の津波被災現況調査結果(第 2 次報告)，2011.10