

## 第6章 災害拠点建築物の構造躯体の設計…適用技術①

\* 建築物の構造躯体等を対象にした、災害拠点建築物として必要となる構造設計の原則

### 6.1 構造設計の方針

- (1) 法令等に定めるところにより、一次設計及び二次設計を行う。
- (2) 二次設計における建築物の各部分の変形を、適切な方法により確かめる。
- (3) 構造計算は架構・部材と整合したモデルを構築して行う。
- (4) 基礎構造の計算は、上部構造に作用する荷重及び外力を安全に地盤に伝達できることを確かめられる方法で行う。

### 6.2 地震に対する設計

- (1) 5.1(1)に規定する地震に対して、建築物全体として、構造躯体に機能継続に支障となるような損傷が生じないことを確かめる。

### 6.3 暴風及び竜巻に対する設計

- (1) 5.2(1)に規定する暴風に対して、建築物全体として、構造躯体に機能継続に支障となるような損傷が生じないことを確かめる。
- (2) 5.2(3)に規定する竜巻の作用（飛来物の衝撃を除く。）に対して、(1)に準じた検証を行う。

### 6.4 津波に対する設計

- (1) 5.3に規定する津波の作用に対して、構造躯体が安全上必要な耐力を有すること及び一定の復元力を保持していることを確かめる。
- (2) 津波浸水深以下の部分など、津波の作用する部分に拠点部分である室を設ける場合は、当該部分の構造躯体に機能維持に支障となるような損傷が生じないことを確かめる。

### 6.5 その他の荷重及び外力に対する設計

- (1) その他の荷重及び外力に対しては、性能の水準を適切に設定し、それに関連する技術的事項を満足することを確かめる。

### ○総プロ関連成果・・・①壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法

鉄筋コンクリート造建築物について、袖壁や腰壁、たれ壁を活用するほか一定の構造設計上のルールに従うことで、大地震時の変形の制御と損傷の低減を高度な計算によらずに達成する設計手法を構築した。

#### 【解説】

### 6.1 構造設計の方針

#### (1) 上部構造

災害拠点建築物は、一般的な建物と同様に建築基準法令の規定を満足する必要がある。したがって、構造躯体については、まず、常時及び中程度の荷重及び外力に対して部材の断面が許容応力度以内であることを確認する一次設計や、主として大地震に対して安全であることを確認する二次設計を行う。

さらに、災害拠点建築物の構造計算における重要事項として、最大級の荷重及び外力に対して機能継続の可否の判断が可能となるよう、建築物の各部分の変形が算出できることが必要であり、そのため、本ガイドラインでは、二次設計にあたって構造耐力上の安全に加えて変形についても確認することを求めている。

構造耐力上の安全性の検証は保有水平耐力計算などにより行うが、変形を確認するための構造計算の手法については、原則として時刻歴応答解析によることとする。ただし、一次設計・二次設計を限界耐力計算によって行った場合は、安全限界変形を大地震時の応答変形と扱うことができる。また時刻歴応答解析以外の方法として、想定した最大級の荷重及び外力に対して弾性設計を行ったり、また後述する鉄筋コンクリート造の検討のようにあらかじめ損傷がある範囲内で収まること検証済みである方法を構築するなど、同等以上に変形を評価できる他の適切な手法によることも可能である。いずれの方法を採用する場合であっても、設計時の想定を超える地震動の作用など入力の不確定性を考慮し、余裕のある設計を心がけることが重要である。

上記のほか、特に鉄筋コンクリート造部材の剛性の評価については不明な部分も多く、剛節架構に耐力壁（袖壁等で構造要素とした部分を含む）が偏在する場合など、異なる荷重変形関係を示す部材の配置によっては想定以上の変形や損傷が架構の一部に集中する恐れもある。こうした状況を避ける最低限の規定として剛性率・偏心率の制限やそれに基づく耐力の割り増しが設けられているが、本来は平面的・立面的にバランスの良い計画とすることが重要である。

## (2) 基礎・地盤

災害拠点建築物が最大級の荷重及び外力に対して想定通りの性能を発揮するためには、基礎・地盤に対しても上部構造に見合った強度や変形性能を確保する必要がある。そのため、本ガイドラインでは常時及び中程度の荷重及び外力に対する許容応力度の照査に加えて、主として大地震に対する基礎の構造計算及び地盤の支持力の確認を推奨する。基礎・地盤に対する構造計算の方法は静的増分解析とする。解析モデルには上部構造と基礎・地盤を一体としてモデル化する一体型や、上部構造と基礎・地盤を分離して、上部構造の構造計算により算出された支点反力を外力に用いる分離型など幾つか考えられる。いずれの方法を用いる場合でも、想定される荷重を適切に組み合わせて、基礎部材や地盤の変形や応力を評価できる方法とすることが望ましい。

特に基礎ぐいについて地震時の性能照査を実施する際には、くい頭に作用する上部構造慣性力（6.1(1)で計算された支点反力としての水平及び鉛直力）だけでなく地盤の強制変位も考慮できることが望ましく、両者を同時に考慮できる応答変位法を用いることを推奨する。地盤の強制変位を計算するに当たっては、日本建築学会「基礎構造設計指針」（平成13年10月）や鉄道総合技術研究所「鉄道構造物等設計標準・同解説-耐震設計」（平成24年9月）を参照することができる。

## 6.2 地震に対する設計

災害拠点建築物に特有の検討として、6.1に示す通り、法令で要求される耐震安全性を確保した上で、さらに大地震に対しては、「機能継続に支障となるような損傷を生じないこと」を確かめる。これは、6.1(2)で定めたとおり大地震時の建築物の各部分の変形が計算されることを前提に、基本的には構造種別ごとにそれぞれ一定の変形範囲に収まること及び十分な耐力の確認によって判断することとなる。

この機能継続上の検証項目に関しては、第3章で示した本ガイドラインで想定する災害拠点建築物の目標性能と同等である官庁営繕「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」の耐震安全性の分類におけるⅠ類又はⅡ類についての地震時の変形制限（鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造については層間変形角 1/200 以下、鉄骨造については層間変形角 1/100 以下）や耐力の確保（許容応力度計算又は保有水平耐力計算のルートにおける重要度係数（Ⅰ類は 1.5、Ⅱ類は 1.25）の設定）に関する規定が参考となる。（官庁営繕「建築構造設計基準」及び「建築構造設計基準の資料」）

上記の他、災害拠点総プロにおいては、そで壁や腰壁、たれ壁等の構造要素を活用することで大地震時の変形を一定の範囲にとどめ、かつ架構の損傷の低減を達成することができる設計法として、技術資料①「壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法」が提案されている。この方法についても、機能継続に支障となる損傷を生じていないことを確かめるための構造計算として適用することができる。

なお、建築物の機能継続に関わる基礎や基礎ぐいの要求性能については、上部構造を傾斜させないために必要なくい体の塑性変形性能に関する情報が乏しいことから、具体的なクライテリアを一律に示すことはできないが、たとえば次のような設計上の配慮によって建築物の傾斜や不同沈下を抑制し、震災に対してより強靱な計画とすることができる。

- ・基礎ばりなど基礎構造部分には、大地震時にヒンジを生じないような計画とする。
- ・基礎部材のせん断破壊を避けるよう、十分なせん断余裕度を確保する。
- ・良好な地盤による直接支持とするか、杭基礎とする場合には、場所打ちコンクリートぐい、鋼管ぐい、SCぐいなどの変形性能に優れた杭を用いる。
- ・塔状比が4未満の場合でも上部構造物の転倒の検討を行い、地盤が極限支持力に達しないことを確かめる。

*内陸型設計例では、災害応急対策の指示拠点としての機能継続に支障となる躯体の損傷を防止するため、技術資料①に基づいて、長辺方向の架構として、外周部では袖壁、腰壁、垂れ壁を有する架構を採用し、内部では袖壁を有する架構を採用した。これにより、技術資料①における設計クライテリアであるベースシア係数が 0.55 に達する時点の最大層間変形角を 1/300 以下とし、かつ部材塑性率を 1 以下とする架構（壁を活用して高い剛性と強度を確保し、変形を小さく抑える架構）を実現している。*

袖壁・腰壁・垂壁を有するフレーム

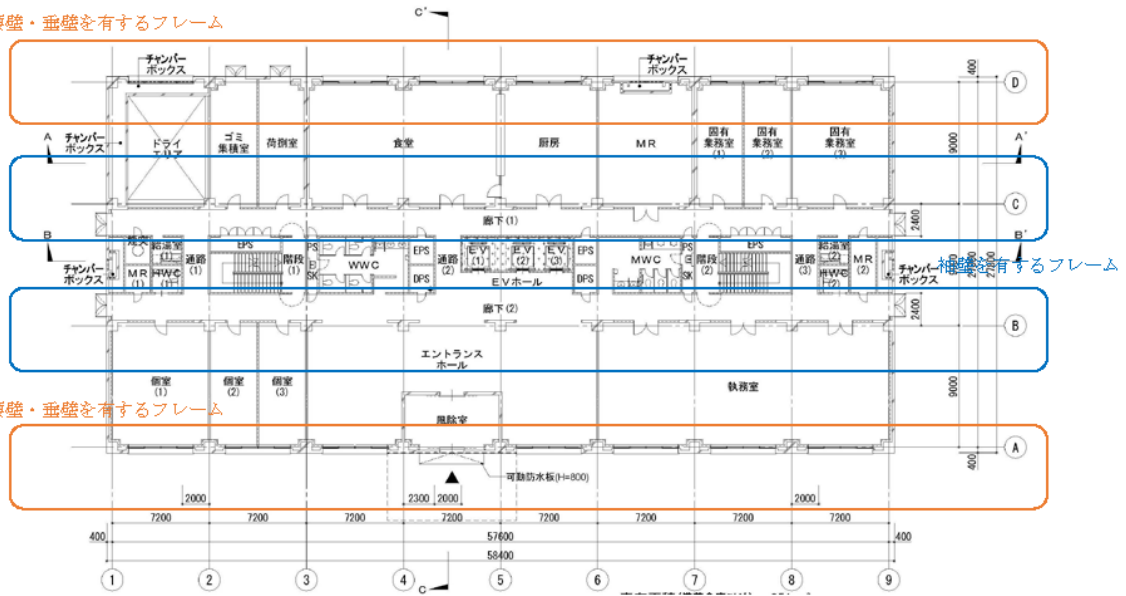


図 6-1 内陸型 1 階平面図 (袖壁・垂れ壁・腰壁を有するフレームを図示)



図 6-2 内陸型南立面図 (袖壁・垂れ壁・腰壁図示)

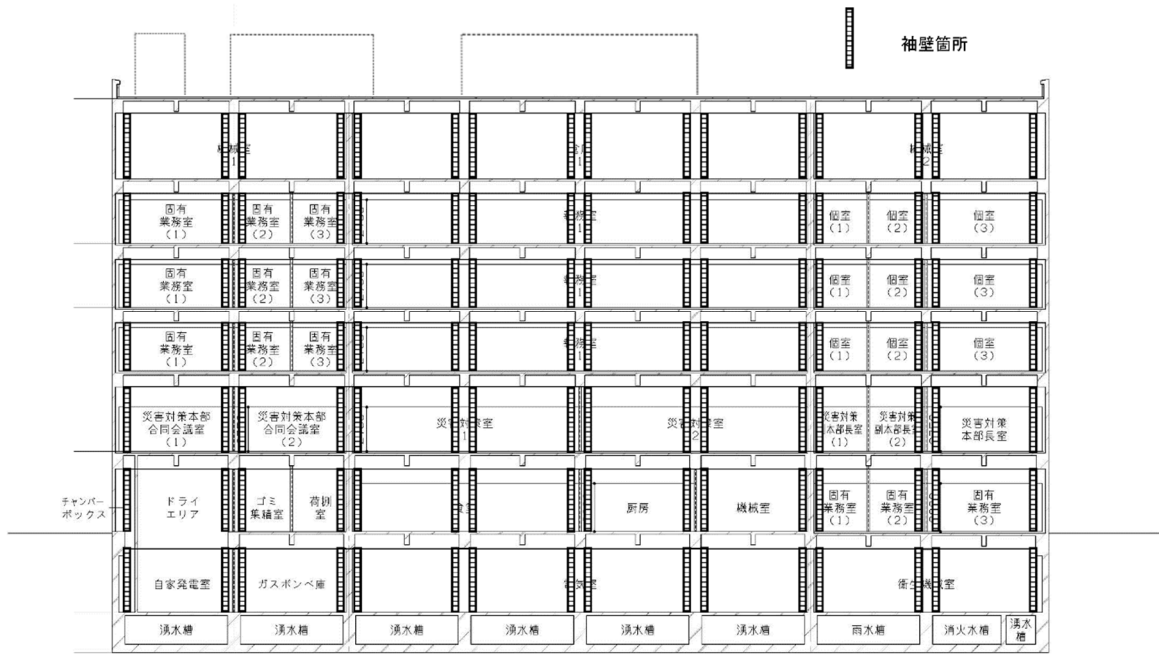


図 6-3 内陸型断面図 (袖壁図示)



写真 6-1 (参考) 壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法の検証のために実施した実大 5 層 RC 造建築物の載荷実験

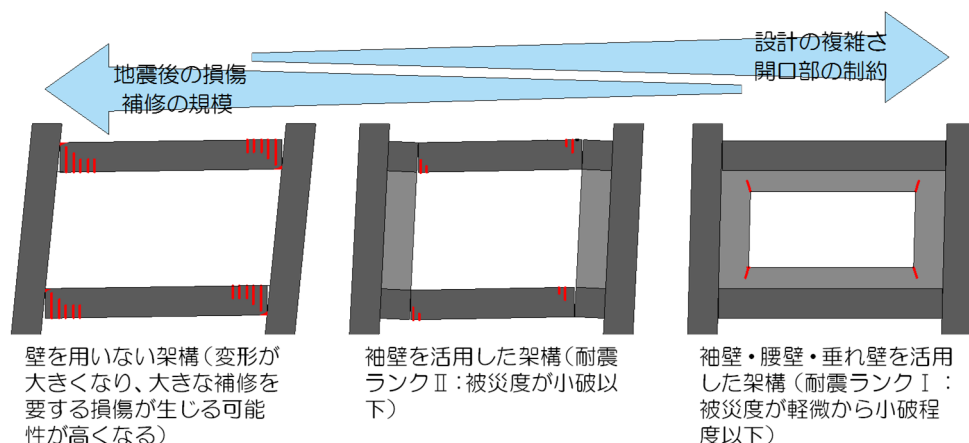


図 6-4 （参考）壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法のイメージ

## 6.3 暴風及び竜巻に対する設計

### (1) 暴風時の検証

災害拠点建築物の構造躯体についての暴風に対する検討として、最大級の風圧力に対する機能継続に関する確認を行う。この風圧力は、5.2(1)(2)で示したとおり、原則として建築基準法令に定める再現期間が概ね 500 年の荷重及び外力レベルに相当し、時刻歴応答解析（令第 81 条第 1 項、平成 12 年建設省告示第 1461 号）又は限界耐力計算（令第 82 条の 5 第二号）において用いられる風圧力と同等である。この風圧力に対して、「機能継続に支障となるような損傷を生じないこと」の性能を満足することを確認する。

ただし、安全性に関する最大級の風圧力に関する検討は、通常の場合、仕様規定への適合や層間変形角の制限値を満足することで省略されることも多く、そのため、5.2(1)の風圧力に関する解説でも示した通り、機能の維持について想定する暴風の状況に応じて別途適切に設定した再現期間などに基づいて風圧力を計算して検討することも可能である。具体的には、3.1(2)の躯体の耐風性能において示した官庁営繕「官庁施設の基本的性能基準」のⅠ類又はⅡ類に従った設計を行うことで、「機能継続に支障となるような損傷を生じないこと」を確かめることが可能である。いずれの方法に基づく場合であっても、地震と異なり暴風の場合には、平均成分を有する変動が比較的長時間継続することから、風圧力が継続している間に架構の変形が進行しないように留意した耐風設計をするべきである。

### (2) 竜巻に対する検証

竜巻に対して機能の維持に関する検討が必要な場合には 5.2(3)の方法に従い、竜巻の作用と概ね等価となる風圧力に置き換えたうえで、上記(1)に準じた方法で機能継続の確認を行う。

また、竜巻が通過する際には同時に飛来物の発生も想定される。飛来物の衝撃に対する安全性の検討は、拠点部分の屋外に面する非構造部材（外装材）については行うものとしているが（7.4 節参照）、これまでに飛来物の衝撃によって庁舎等の安全性喪失に至った事例が確認されていないことから、構造躯体については検討を要しないこととした。

#### 6.4 津波に対する設計

津波に対しては、安全上必要な耐力についての検討を「津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対して安全な構造方法等を定める件」（平成 23 年国土交通省告示第 1318 号）、「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について（技術的助言）」（平成 23 年 11 月 17 日付国住指第 2570 号）における別添「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る暫定指針」に基づき行う。具体的には、1) 架構の水平耐力の検討（波力によって各階に生じる力が架構の水平耐力を超えないことを確認する）、2) 波圧が直接作用する構造耐力上主要な部分の検討（波圧によって生じる部材応力が終局耐力以内であることを確認する）、3) 転倒及び滑動の検討（津波による浮力の影響を考慮し、建築物が転倒及び滑動しないことを確認する）、4) 洗掘に対する検討（洗掘に配慮し、建築物が転倒し、滑動し、又は著しく沈下しないことを確認する）、5) 漂流物に対する検討（漂流物の衝突により想定される衝撃が作用した場合においても、建築物が容易に倒壊、崩壊しないことを確認する）を行う。また、津波は地震と異なり力が比較的長時間一方向に作用することを考慮すると、水平耐力は建築物剛性がある程度確保されている時点の値とする必要があることから、津波の作用を受けた架構について「一定の復元力」の付与を求めることとした。具体的には、同告示及び暫定指針に基づく設計例において示された変形制限（1/100）を満たしつつ、地震時と同様に小破程度の性能低下に留まることを確認する。なお、この制限値（検討項目）は拠点部分となる室が津波の影響を受ける部分を避けて配置されていることを前提としており、やむを得ずこれを満たさない計画となる場合は、当該室を有する階については、機能継続に関して特別な検討が必要となる。

これらの計算に用いる津波波力の各種の低減については、技術資料③外壁材の脱落を考慮した耐津波設計法、④低抗力型建築物の耐津波設計法が参照できる。

*沿岸型の設計例では、極めて稀に発生する地震動による地震力に対しては、コア部に座屈拘束ブレースによって地震動エネルギーを吸収させ、また、津波による水平波力（設計用浸水深 5m、水深係数 2）については、水理模型実験によって得られた低減率を考慮して波力を算定し、いずれも層間変形角が 1/100 以下となることを確認している。なお、漂流物によって 1 階の一部の柱が破壊されても各階床荷重を支持できるよう 8 階外周部にトラス架構を設けるとともに、漂流物による局所的な柱の損傷を防止するため、1～2 階の柱には中詰めコンクリートを打設することとしている。*

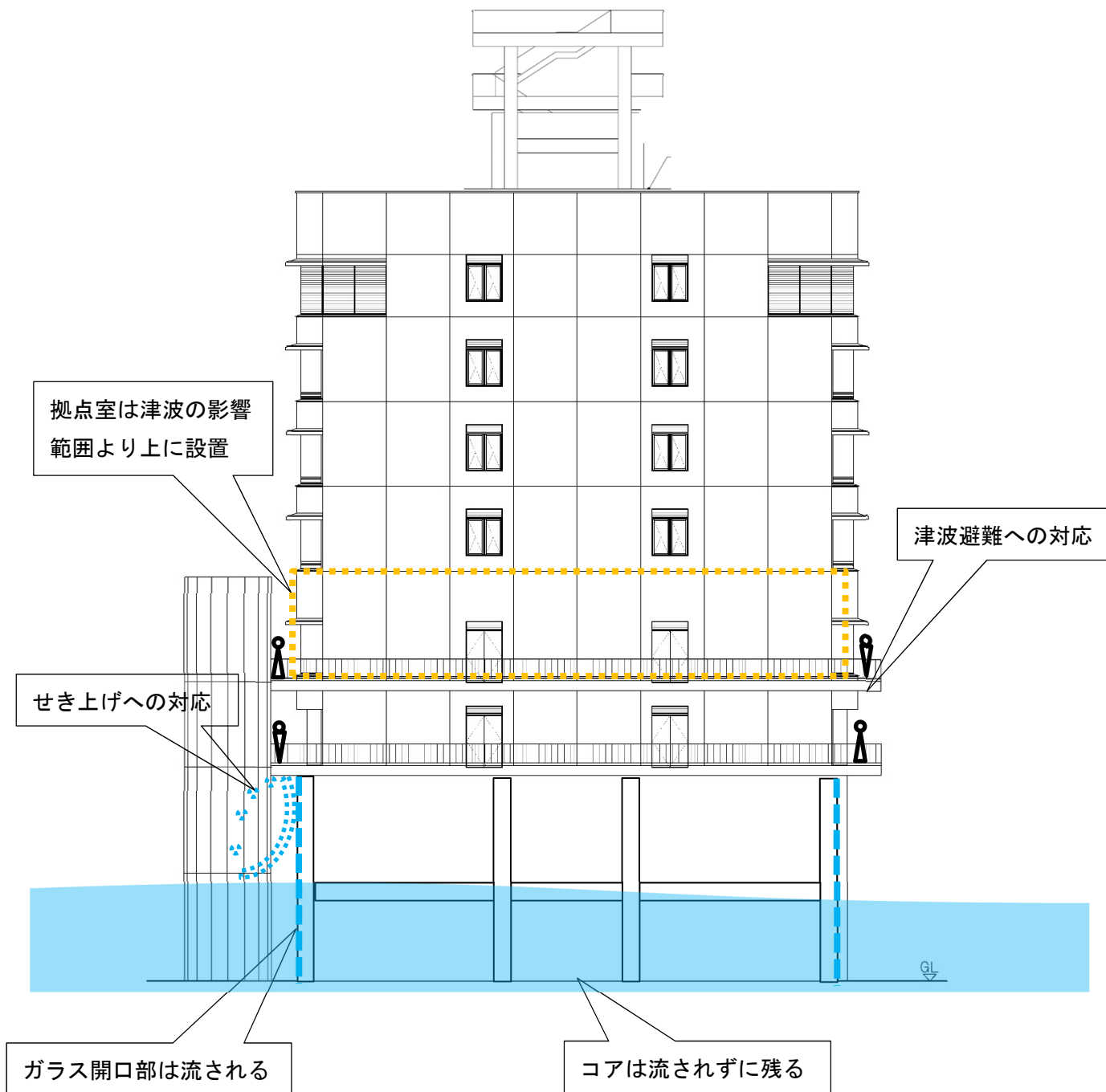


図 6-5 沿岸型建築物設計例 コンセプト図 (立面図)