

# 津波避難シェルターの実施設計

片山 武<sup>1</sup>・高根 努<sup>2</sup>・西浦 清貴<sup>3</sup>・倉田 雅人<sup>4</sup>・大波 修二<sup>5</sup>・宇都宮 毅<sup>6</sup>

<sup>1</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店 国土技術部 (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-18)  
E-mail:katayama-tk@oriconsul.com

<sup>2</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店 国土技術部 (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-18)  
E-mail:takane@oriconsul.com

<sup>3</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店 国土技術部 (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-18)  
E-mail:nishiura@oriconsul.com

<sup>4</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ 関東支店 地下構造部 (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)  
E-mail:kurata@oriconsul.com

<sup>5</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ 関東支店 都市デザイン部 (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)  
E-mail:ohnami@oriconsul.com

<sup>6</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ 関東支店 地下構造部 (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)  
E-mail:utsunomiya@oriconsul.com

高知県室戸市において実用化が進められている津波避難シェルターの実実施設計を行った。津波避難シェルターは、国内外で類を見ない施設であり、仕様の設定に際しては、イベントツリー等により被災時に必要な性能の漏れを防止するとともに、類似施設とシェルターの使用環境を対比し、相違点を踏まえた改善のサイクルを繰り返した。また、津波時に人命を守るシェルターの性能そのものに関わる必要性能を落とさないことを前提に、住民の協力、要望等を適宜取り入れることで性能向上とコスト削減をはかった。

**Key Words :** tsunami escape facility, tsunami shelter, water-proof mountain tunnel

## 1. はじめに

高知県では、高知県沿岸に到達することが予想されている津波から人命を守るため、緊急的、一時的な避難を行う場所の整備を進めており、平成24年3月31日に国から公表された津波高の推計値を踏まえ、既存の避難場所の整備に加え、より大きく、到達時間の早い津波にも対応できる新たな避難場所として津波避難シェルターの実用化に取り組んでいる。本報告では、現在室戸市佐喜浜町都呂地区で施工中の津波避難シェルター（崖地の横穴型、図-1）の計画・設計のうち、シェルター本体、および付帯施設、設備設計について報告する。



図-1 津波避難シェルターのイメージパース

## 2. 津波避難シェルターの計画概要

崖地型として計画される津波避難シェルターの概要は図-2に示すとおりであり、以下の施設により構成される。

- ①シェルター本体
- ②衝突防止柱
- ③外部連絡用立坑
- ④付帯設備（照明、換気、電源設備）
- ⑤建築、施設（立坑上建屋、内装、外構等）

シェルター本体、外部連絡用立坑では施設規模や耐震性と水密性の仕様、シェルター入口、衝突防止柱では波圧、衝突物の適切な設定が求められるほか、建築、設備設計では高齢者や負傷者にも配慮した避難誘導、24時間の避難機能の確保が着眼点となった。一方、崖地型の立地条件から入口、立坑口は集落が密集する裏山の急崖地となるため、狭隘な施工ヤードでの施工、周辺集落への環境対策が課題となった。

これらの検討課題を踏まえた上で実施した、各施設における設計の詳細を以下に記述する。

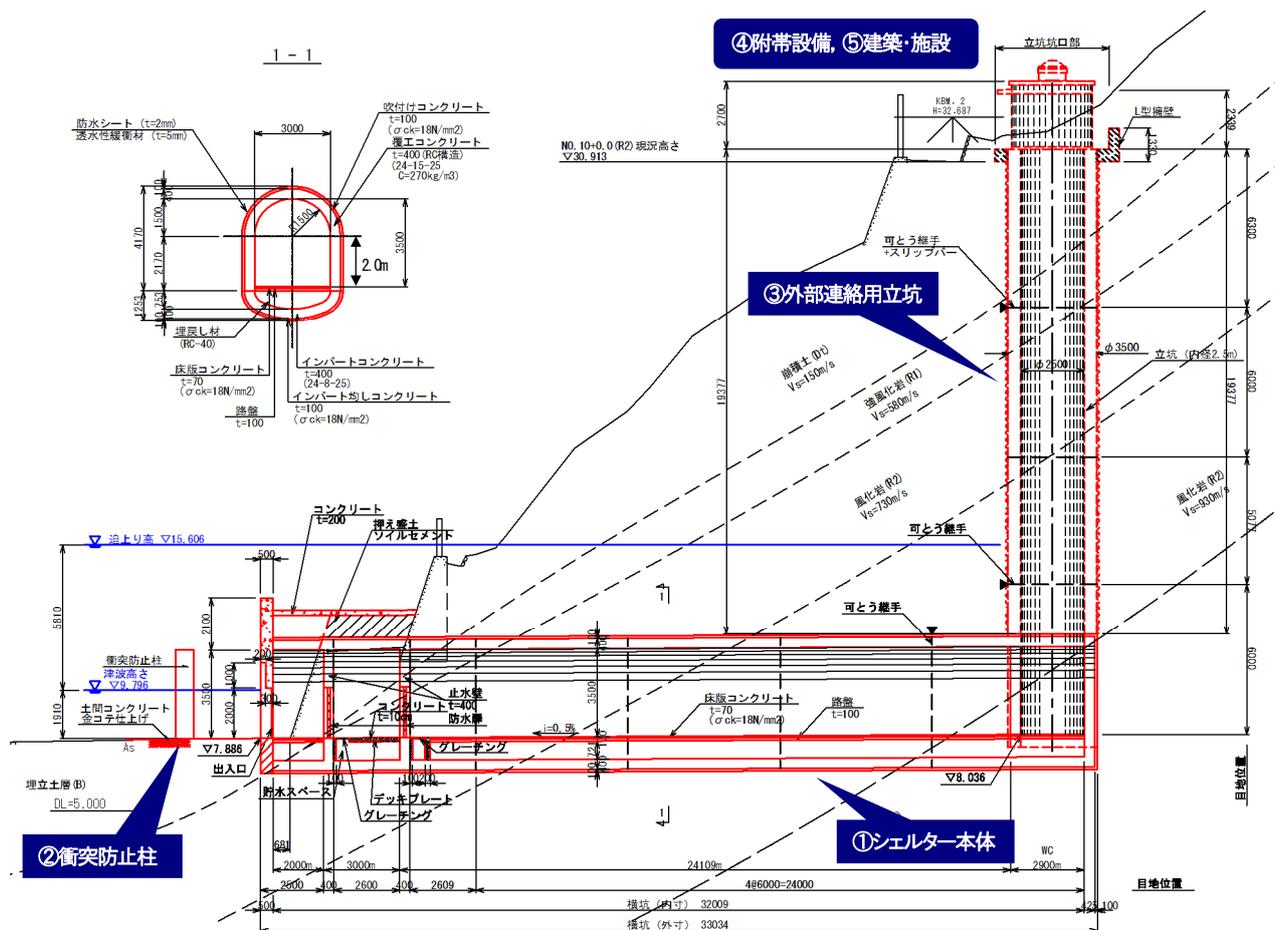


図-2 津波避難シェルターの計画概要図

### 3. シェルター本体

シェルター本体は、避難者71人を収容可能な約30mに及ぶ小断面の横坑（防水型トンネル）として計画し、水密性や耐震性、周辺環境に留意のうえ、内空断面、支保構造、防水工、坑門工の設計および施工計画を行った。

#### (1) 内空断面の設計

内空高は、道路トンネルにおける監査歩廊、監視員通路の建築限界高さを参考に2.0mを確保した。また内空幅は、工事用機械の作業空間や経済性を勘案し、奥行き1.0m当たり避難者3人を収容可能（1m<sup>2</sup>/人）な3.0mを採用した。内空断面は、これらを包含する側壁直型の馬蹄型断面として設定（図-1の1-1断面）し、横坑への配管、配線、ダクト、照明灯具の設置は、避難者の滞在スペース上部の余剰空間を利用する計画とした。

#### (2) 支保工の設計

支保パターンは、小断面道路トンネルの標準設計を適用し、土被りが数m~20m程度、軟岩相当の砂岩地山に対し、土被り1.5D=6.0m（D：掘削径4.0m）が確保できる位置までを坑口部のDIII（図-3）とし、これより坑奥

側をDIIとして設定した。また、坑口部の崩積土・強風化砂岩に対しては、天端の安定確保を目的として長尺鋼管フォアパイリング（AGF工法）を採用した。

DIII区間の鋼アーチ支保工は、吹付け厚10cmに対して従来鋼H-125（SS400）では覆工への突出量が大きく、覆工厚の不均一化による応力集中や破り不足、防水シートの破損要因となることが懸念された。このため、NEXCOで標準化されている高規格鋼HH-100（HT590/SS590）を採用し、鋼アーチ支保工を薄肉化することで突出量の低減に配慮した。

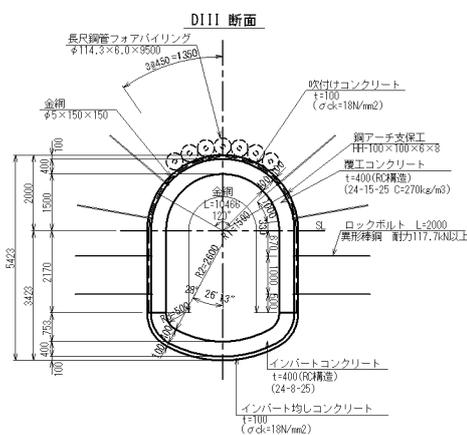


図-3 横坑支保パターン図

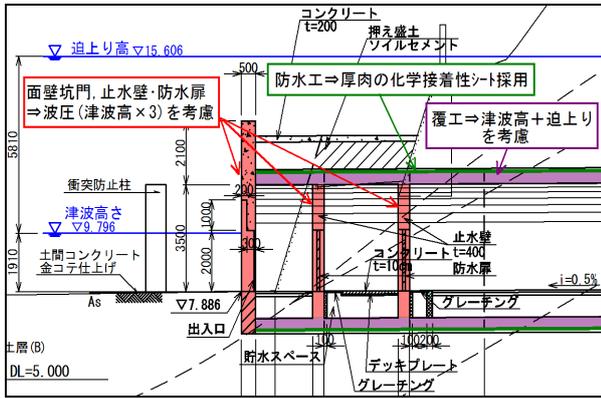


図4 横坑構造設計の考え方

### (3) 覆工の設計

覆工は、津波発生時の地下水位を評価しがたいため、図-4に示す津波高1.91m+迫上り5.81mの水圧（横坑天端+4.0m）に耐えうるよう、許容応力度法による構造設計を行った。応力照査の結果より、覆工打設の施工性を考慮した構造上の最小部材（覆工厚400mm、 $\sigma_{\alpha}=24\text{N/mm}^2$ 、D16@250複鉄筋）で計画し、終局限界状態において地表面まで水位が上昇（横坑天端+19.0m）した場合も構造安定性を担保可能であることを確認した。また、緩い地盤に位置する坑口部は、避難時における水密性確保（浸水に繋がるひびわれ発生の抑制）の観点から耐震設計を行い、主筋のランクアップとせん断補強筋を配筋した。

### (4) 防水工の設計

防水構造の計画にあたっては、シェルター内への浸水は直接人命に関わるため、津波発生時に浸水しない高い信頼性が求められた。防水シートは、シート損傷部からの水走りや漏水を阻止するため、覆工表面と接着する厚肉の化学接着性シート（ $t=2.0\text{mm}$ ）を採用した。また、裏面緩衝材については、覆工打設時の損傷防止に配慮し、厚肉の長繊維不織布（ $t=5.0\text{mm}$ ）にて計画した。

### (5) 坑門工の設計

坑門工は、津波の進行方向に直交するよう地形に合わせた面壁型の斜坑門として計画した。坑門背面の保護盛土厚は、面壁形状のコンパクト化の観点から、落石の緩衝材としての最小砂層厚90cmを確保し、津波発生時の破損や浸食を考慮してコンクリート（ $t=200\text{mm}$ ）で被覆する計画とした。ウイングの応力計算は、常時、施工時、波圧考慮（波圧係数3）の3ケースで行い、面壁厚および配筋仕様（壁厚500mm、 $\sigma_{\alpha}=24\text{N/mm}^2$ 、D22~D25@250複鉄筋）を決定した。また、坑奥の2枚の止水壁（防水扉部）については、波圧を考慮した格子モデルによる解析を行い、覆工と同厚の壁厚400mmの複鉄筋構造（ $\sigma_{\alpha}=24\text{N/mm}^2$ 、D16@250）として計画した。

### (6) その他の設計

横坑は防水構造であるため、横断勾配は避難者に配慮しLEVELとして側溝や切欠きは設けず、清掃時に使用水を坑口側へ流下させるための縦断勾配として0.5%（坑口側への下り勾配）を確保した。また、止水壁間の床下スペースを有効活用し、津波発生時に防水扉を閉める際の万一の浸水対策として、貯水ピットを設置した。

### (7) 施工計画、仮設備計画

計画地周辺は民家が密集しており発破掘削が適用できないため、振動、騒音を低減できる機械掘削（昼間一方施工）を採用した。掘削機械は、小断面での取り回しと局所的に出現する硬質岩への対応を考慮し、打撃系機械として0.8級ブレーカ（ベースマシン0.45m<sup>3</sup>級）を採用した。その他特徴として、小断面かつ延長が短いこと、用地上の制約等を考慮し、ホイールローダ（2.3m<sup>3</sup>級）によるずり出し、コンクリートモビルと小型吹付機を用いた人力吹付け、油圧クローラドリル（150kg級）によるロックボルト打設等を計画した。

## 4. 衝突防止柱

衝突防止柱は、津波シミュレーションによる最大流速と最大水深をもとに、対象漂流施設の衝突荷重を設定し、変形を許容する鋼製支柱構造とした。

### (1) 防護施設形式の検討

シェルターの入口を津波による漂流物から防護する施設について、①コンクリート造の建屋による防護と②出入口前に支柱等を設置する構造を比較（表-1）し、「シェルター入口への衝突荷重の影響」や「避難者の避難口の視認性」、「避難者の避難動線確保」の面で優れる②案を採用した。

### (2) 防護構造の検討

防護支柱等の構造について、以下の観点から「コンクリート構造」、「鋼製構造」、「壁（開口あり）構造」、

表-1 防護施設形式の比較

	① 建屋形式案	② 防護支柱等形式案
イメージ		
評価	△: 衝突荷重により坑口への影響あり	○: 避難口の視認性や避難動線がスムーズ

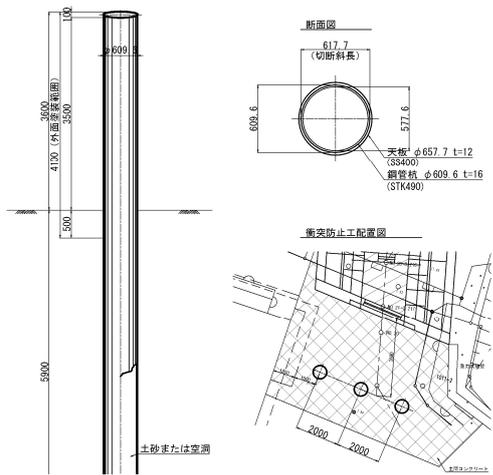


図-5 衝突防止柱一般図



図-6 立坑候補地平面図

「柱構造」の比較より、「鋼製支柱を地盤に直接立て込む構造」を採用した。

- ①衝突物のエネルギーを扉に作用させない
- ②衝突物により破損、崩壊しない
- ③入り口の視認性を阻害し、動線を阻害しない
- ④損傷形態などで復旧、救助等の作業を邪魔しない
- ⑤対象箇所への設置が可能な構造

なお、対象箇所については産業廃棄物処理の関係から削孔土砂の処分が可能な深礎工法を用いた支柱の削孔を行う工法とした。

### (3) 衝突防止柱の設計

#### a) 設計荷重

衝突物の衝突荷重については、津波シミュレーション解析結果における最大流速と最大水深を用い、周辺建物で規模の大きな2つの建屋について、荷重を設定した。

なお、建屋の重量は「公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル(案)」<sup>1)</sup>より  $0.6\text{t/m}^2$  とした。

#### b) 設計結果

a)の荷重を用い、「津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)」<sup>2)</sup>を用いて支柱(鋼管)の設計を行った(図-5)。変形によるエネルギーを吸収するため、地盤の変形、支柱の変形を考慮し、かつ、車いすの通行、転回にも配慮して支柱の設置位置を決定した。

## 5. 外部連絡用立坑

外部連絡用立坑は、地震時の津波、斜面安定の両面から見た安全性が求められた。加えて、狭隘な立坑内で確実な止水性能を確保できる施工が可能であるかどうかを着眼点として構造部材の選定を行った。施工計画では、周囲の砂防施設配置、地盤状況にも配慮した施工法、施工機械を選定した。

### (1) 立坑配置、構造検証

#### a) 立坑の配置検討

シェルターを計画する斜面は、図-6に示すように急峻で、転石が多数存在し、現況の落石防護柵も多段にわたり設置されていた。

位置選定では、斜面頂上部にいたるまで転石調査を行い、転石安定度を含めた斜面状況を把握するとともに、既存落石防護柵の竣工図、過去の斜面の崩壊履歴にいたる既存資料収集を行った。これらの情報を元に、地震にも耐えうる立地条件であることを前提に、資材、施工機械の搬入、施工を視野に入れ、立坑周辺に電気室が配置可能な範囲を絞り、落石防護柵前後での配置検討の結果、2段目の既存落石防護柵後方に配置する案を選定した。

#### b) 立坑の構造設計

施工性の面から、通常の吹付けコンクリート+ロックボルトによる一次支保工は使用できず、ライナープレートに限定された。ライナープレートは、前後の斜面傾斜による偏土圧に対応する( $t=2.7\text{mm}$ ) + 補強リング(H-125)を採用した。ただし、水圧に関しては、ライナープレートを透過して覆工コンクリートへ直接応力が発生するものとして、覆工コンクリート厚( $t=425\text{mm}$ )、鉄筋D19(主要部)を採用した(図-7)。

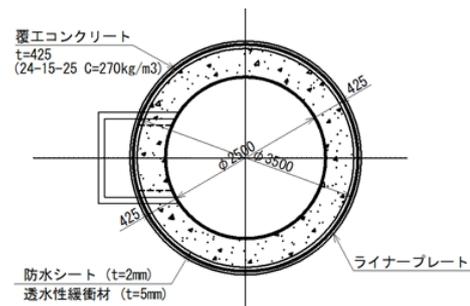


図-7 立坑断面図

ライナープレート背面には地下水変動、津波発生時の土砂流出を防ぐエアモルタル充填を計画した。また、凹凸、ボルト等が露出するライナープレートから防水シートの破損を防ぐことを目的として、緩衝材（ポリスチレンフォーム（ $t=5.0\text{mm}$ ））を計画した。防水シートは防水性の確保を目的として厚肉の化学接着性シート（ $t=2.0\text{mm}$ ）を採用した。

また、立坑内の階段は、避難性と、維持管理性に配慮した側壁固定型の螺旋階段（鋼製）とした。これにより、立坑中心部の区間を送排気に用いるダクト、電力管路に利用することができた。

### c) 立坑周囲の安全性確保

立坑の背面斜面には多数の転石が点在し、地震発生時の落石による電気室、立坑の破損が懸念された。斜面下端部に落石防護柵を設置すると規模が大きく、施工性、経済性の点において適さないことから、一定以上の巨岩は小割し、中腹部に待ち受け式落石防護柵を組み合わせ、立坑近傍の転石には落石防護網で被覆する複合的な対策を計画した。

## (2) 立坑の施工計画

立坑掘削としては、機械掘削、人力掘削、発破掘削があり、今回の地質条件（中硬岩）での施工の場合には、機械、もしくは発破掘削が一般的である。だが、運搬に用いるモノラックの最大積載量が 2t であるとともに、発破による落石の発生を懸念し、簡易重機を併用した人力掘削を採用した。ずり出しは、モーターウインチ（0.5t 吊）にて引き上げた上で、シューターから施工ヤードのずり仮置き場へ落とす計画とした。

ライナープレートおよび緩衝材、防水シート設置後に鉄筋を組み、型枠を設置して覆工を打設する。1回の打設高さは、実績および横坑同様の6mとした。打設目地には防水性を高めるため、止水版を設置した。

## 6. 設備設計

シェルターの利用は、発災後 24 時間を基本とすることから、図-8 に示す利用時の運用に関わる照明設備、換気設備、電源設備について計画した。

### (1) 照明設備の明るさ設定

シェルター内は外からの光を取り込むことができないことから、照明設備による明るさに頼ることになる。よって、建築物における設計基準および JIS 規格等（表-2）を参考に、明るすぎず、避難時の滞在に不便の無い明るさとして、100Lx に設定した。

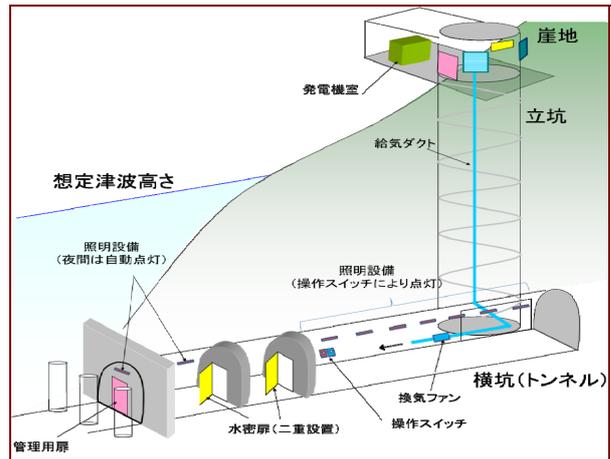


図-8 シェルター内付帯設備の概念図

表-2 各種照度条件

対象施設	照度設定	摘要
本施設（津波避難シェルター）	100Lx	—
車庫	75Lx	建築設備設計基準
道路トンネル	117Lx	設計速度 100km/h
廊下、エレベータ	100Lx	JIS Z9110
玄関（車寄せ）、玄関ホール（夜間）	100Lx	JIS Z9110

### (2) 換気設備の換気量の設定

シェルター内の空気の供給については、立坑により外部の空気を供給することが可能であることから、外の新鮮な空気を換気ファンによりシェルター内に給気し、排気は自然に行う第2種換気を採用することで、滞在している避難者に対し安全に空気が供給できるよう配慮した。

### (3) 電源設備の計画

津波避難シェルター利用時は、大規模地震が発生した後になることから、商用電源は停電している可能性が高い。また、実際に津波が押し寄せた場合、電力の供給がほぼ期待できないことから、シェルター内の照明設備と換気設備は、発電機により運用することを基本と考えた。

設置場所については、発電機が津波により停止しないよう津波の想定高さ以上の位置とし、立坑の地上建屋に発電機室を設けることで、維持管理の利便性を図るものとした。

運転方法は、電源システムの簡素化による故障リスク低減とコスト的な観点より、商用電源との連動によるものではなく、手動による操作方式とした。

### (4) 運用について

津波シェルターの利用は避難者自身が行うこととなる。よって、津波シェルターに慣れ親しんでもらうために、定期的な避難訓練の実施を促すとともに、地元住民へ配布するものとして、避難時の運用マニュアル（案）を作成した。

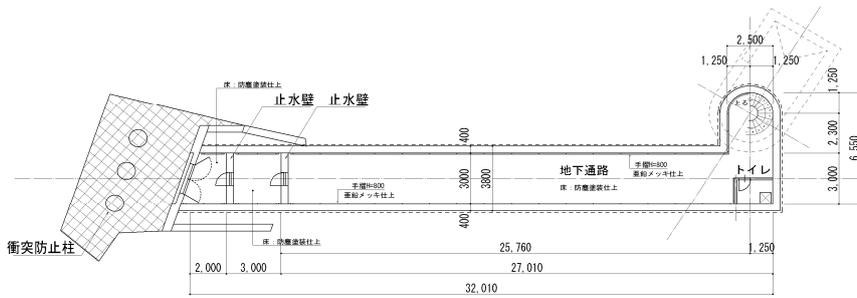


図-9 シェルター内平面図

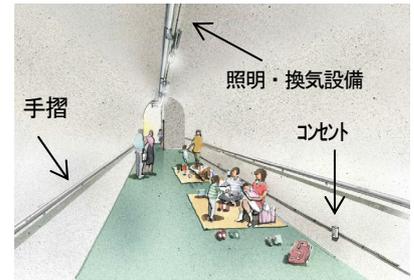


図-10 シェルター内イメージ図

## 7. 建築, 施設

建築, 施設計画として, 横坑内部空間, 立坑上の建屋 (発電気室), 外構形状と色彩について検討した。

### (1) シェルター内部空間

#### a) 設計の着眼点

トンネル横坑を 24 時間避難空間として利用する特殊条件のため, 以下の基本方針のもと計画した。

- ・横坑という特性上, 幅が狭く長い空間で, 速やかに避難し 24 時間利用に耐えられる施設配置とする。
- ・発生頻度の低い大規模津波に対する施設のため, 維持管理に留意する。(ミニマムメンテナンス)
- ・設置地区は高齢者が多く, また, 地震発災後で人が人も想定されるため, これらの利用にも留意する。

#### b) 施設計画

避難者を短時間で横坑内に納め, またミニマムメンテナンスを実現するため, 24 時間利用での必要最低限の設置施設とした。具体的には, 食料, 水は備蓄品を利用 (横坑奥に常備) することで省略し, 設備計画で示した照明, 換気, 電源設備および, 生理上必要なトイレ施設のみとした。

そして, 図-9, 図-10 に示すように, 狭い空間を有効に活用でき避難, 行動空間の邪魔をしないようトイレは横坑奥に設置し, また, 照明, 換気施設類は天井部に集約して配置した。壁面には, けが人, 高齢者の避難, 移動に必要な手摺とコンセントのみ設置した。なお, 立坑との間には壁や扉は設置しないことで, 立坑からの自然光が入るようにしている。

#### c) トイレ・手洗い

外部と閉鎖されかつ限られた空間, 条件であることから, トイレは, トイレブース内に廃棄ピットを設置し, 排泄物を各自で廃棄する仕様とした。排泄物は凝固剤で固め, また立坑に近い換気システムの排気側にトイレを設置することで, 臭気が横坑内に広がらないようにしている (図-11)。便器数は避難人数から求められる必要便槽容量からトイレ数を算定し 1 基のみ設置した。また,

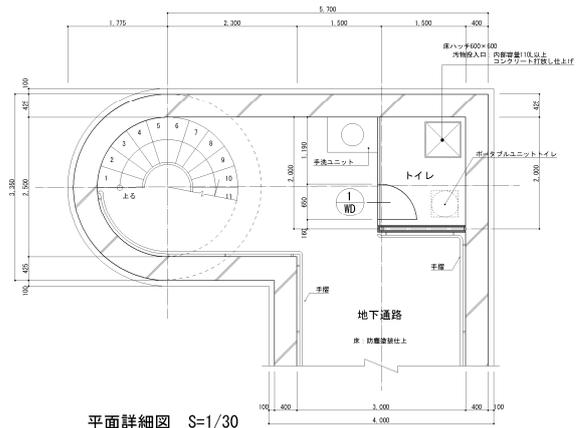


図-11 トイレ, 立坑付近平面図

ペットボトルの水等をタンクにためて利用できる仮設手洗いの設置スペースをトイレ横に設置した。

#### d) 内装

トンネル内で温度, 湿度がある程度一定であること, ミニマムメンテナンス化のため, 天井, 壁はコンクリート打ち放しとし, 配管類は露出配管とする。床は埃があまりにくく清掃しやすいように, 防塵塗装とした。なお, 床に座ったり就寝で横になったりするため, 備蓄で保管する防災マットを避難後に各自が敷くこととしている。

### (2) 立坑上建屋

図-12, 図-13 示す立坑上建屋は, 発電機の設置・メンテナンス場所であるとともに, 立坑螺旋階段からの出入口と物見台, 給排気ロダクトの設置スペース, 横坑への明り取りの機能を有する必要がある。そして, 海岸沿いの崖上設置という特性上, 塩害とミニマムメンテナンスに留意するのが望ましい。

そこで, 建物は鉄筋コンクリート造とし, ドア類はステンレス製とした。立坑上部にはトップライトを設置し, 立坑螺旋階段を壁取付けとすることで横坑への採光性を高めた。発電機室と立坑の間には防音ドアを設置し横坑部に発電機の騒音が坑内に伝わりにくくした。

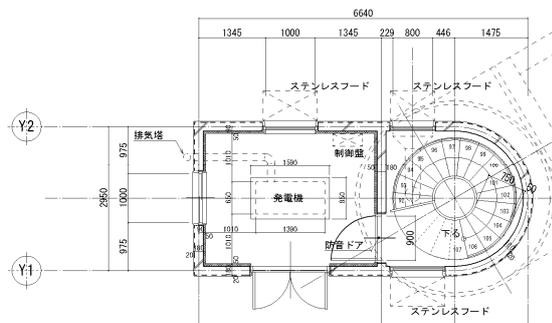


図-12 発電機室平面図

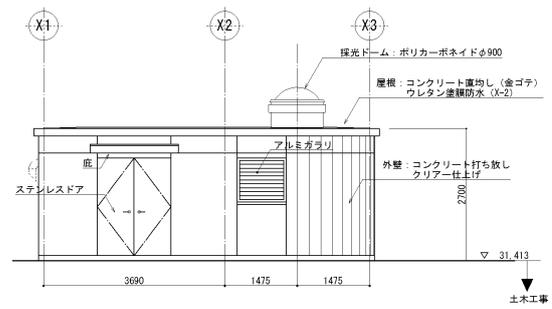


図-13 発電機室立面図

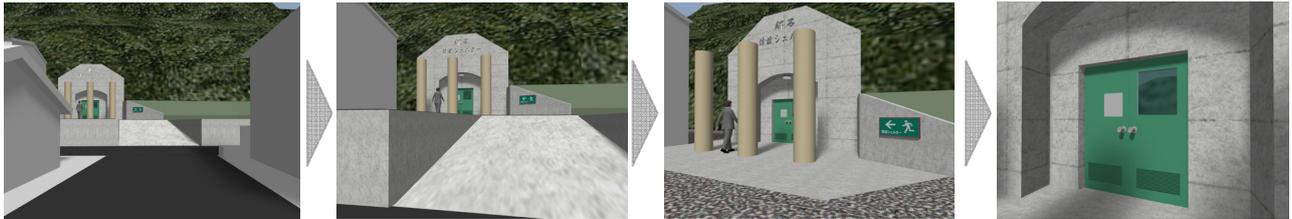


図-14 避難者からのシェルター入口付近の見え方

### (3) 外構形状と色彩

緊急時の代表的な避難行動である、向光性（明るい方向を目指して逃げる）、本能的危険回避性（危険事象から遠ざかろうとする）に留意し、外構形状、色彩を計画した。

そこで、図-14に示すように、入口付近に照明、サインを設置するとともに、扉は視認性を向上させ、また安心感を与えるように安全色である緑色とすること、坑口形状はアーチ状にして入口を明確化し安心感を与えるようにした。

現在施工中であるが、シェルター完成後においても定期的な避難訓練の実施等により、津波発生時においてより安全度を高める取り組みを行うことが重要となる。

津波避難場所の選択肢には、津波避難シェルターのほかに高台や津波避難ビル、津波避難タワー等があるが、今回の設計例が類似した条件における津波避難用の施設整備の一助になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 国土技術総合政策研究所：国総研資料第 485 号，2008.
- 2) 沿岸技術研究センター，寒地港湾技術研究センター：津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)，2009.

## 8. おわりに

本稿では、国内外で類を見ない施設である津波避難シェルターの実施設設計について報告した。本シェルターは

(2015.8.7 受付)

## DESIGNING OF TSUNAMI SHELTER

Takeshi KATAYAMA, Tsutomu TAKANE, Kiyotaka NISHIURA, Masato KURATA, Shuji ONAMI and Takeshi UTSUNOMIYA

Plans for the development of tsunami escape facility are moving forward after the Great East Japan Earthquake in 2011 in Japan. Especially, tsunami countermeasures building should be hurried, because there are many coastal areas in Kochi Prefecture. The first Tsunami shelter is being constructed as one of tsunami escape facilities in Muroto city, this country. The shelter is constructed by conventional tunneling method. It was designed which is mindful of the environment of usage when evacuating local residents. In this paper, planning and designing for structure and facilities of the Tsunami shelter are explained.