

産業遺産である既存地下空間を利用した 低酸素スポーツ環境施設の防災計画の検討

EXAMINATION OF DISASTER PREVENTION PLANS FOR A LOW OXYGEN ENVIRONMENT USING AN EXISTING UNDERGROUND OPENING, INDUSTRIAL HERITAGE

櫻井 春輔¹・浅野 勝己²・吉井 真³・小林 薫^{4*}

This paper takes for example a large tunnel left in the urban neighborhood that is transformed into a facility where athletes, junior and senior high school students, athletes of the business group and citizen can undertake simulated altitude training for improving their cardiopulmonary function. This paper describes the results of examination of disaster prevention plans fully considering the convenience of facility users based on the disaster prevention plan for the Takayama Festival Art Museum, the first underground structure in Japan to obtain the rating of the Building Center of Japan for disaster prevention of structures. The paper concludes that structurally stable existing underground opening has a high potential for conversion to a simulated altitude training facility without making any significant reform.

Key Words : *underground opening , industrial heritage , low oxygen environment , air tightness , simulated altitude training*

1. はじめに

山間部の鉱山や地方鉄道に活用されていたトンネルなどは、狭くて、細長い線状の構造物であり、外部との遮断性が高いため他の用途には使い難い。更に、地下空間の安定性確保から埋め戻す場合でも費用が掛かるため、そのまま放置されていることが多い¹⁾。また、長期にわたる構造物の維持管理面から、新成長戦略²⁾に沿った民間事業者の効率的なマネジメント、種々の規制緩和などを行うことで新たな事業展開が期待されている。加えて、転活用を効果的に図るためには、構造面と共に防災面に関する課題をクリアすることが重要視されている。

一方、転活用促進に向けて広く一般市民に、放置されている既存トンネルの転活用に関するアイデアを取り入れるためのアンケート調査が実施されている³⁾。また、既存地下空間の一部を活用してきた産業の紹介のための資料館⁴⁾や見学施設⁵⁾、地下空間の特性（恒温恒湿性、遮断性など）を活かしたワインの貯蔵⁶⁾、スギゴケ栽培⁷⁾などへの活用もあるが、その利用方法はごく限られた区間のみであり、現状では本格的な活用に繋がっていない。

こうした背景に対して、本論文はアスリートが心肺機

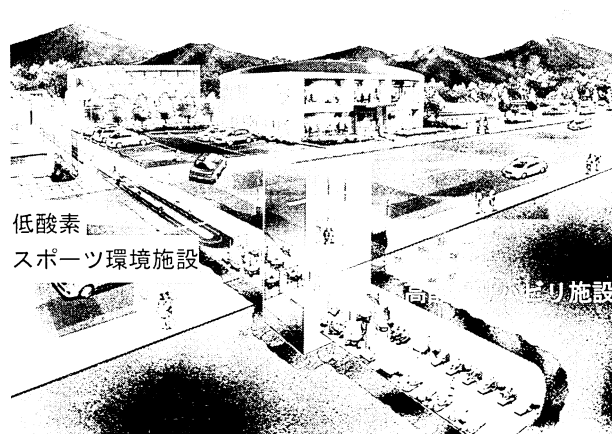


図-1 都市型低酸素スポーツ環境施設のイメージ

能などを高めるために採用している高所トレーニング⁸⁾を目的に、低酸素スポーツ環境施設¹⁾（図-1）を例として、産業遺産として残されているトンネルなどの地下空間を転活用する際の防災計画について具体的に検討した。なお、防災計画の検討に際しては、図-2に示す国内初の新設大規模地下空間を利用した建築構造物として（財）日本建築センターの防災評定を取得した「高山祭りミュージアム」⁹⁾の防災計画、特にアプローチトンネル部の防災計画を基に検討した結果について論ずる。

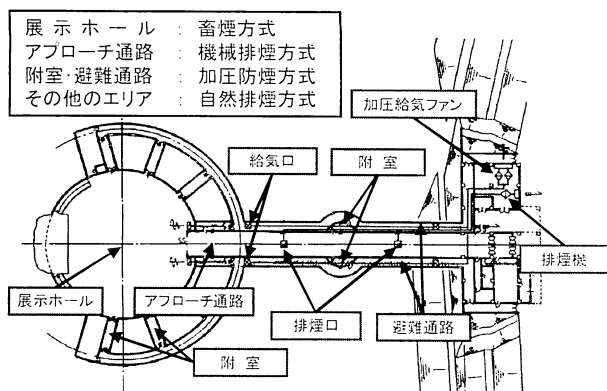
キーワード：地下空間、産業遺産、低酸素環境、気密性、高所トレーニング

¹フェロー会員 工博 PhD 財団法人 建設工学研究所（〒657-0011 兵庫県神戸市灘区鶴甲1丁目3番10号）

²非会員 医博 NPO法人 富士山測候所を活用する会（〒102-0083 東京都千代田区麹町1-6-9）

³正会員 神戸市みなと総局 技術部（〒650-8570 兵庫県神戸市中央区加納町6丁目5番1号）

⁴正会員 博（工）飛島建設株式会社 技術研究所（〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬5472），* E-mail:kaoru_kobayashi@tobishima.co.jp



2. 既存地下空間利用のメリット

既存地下空間を用いることにより、転活用にあたっては以下の①～⑨に示す主なメリットが考えられる。

- ①酸素調整型トレーニングをこれまでのカプセル内の限定運動から、トンネル内のランニング運動に拡大可能
- ②都市内にあるため、高・低所交互型高所トレーニングが容易
- ③競技選手の成績向上に繋がる独創的トレーニング法の実験や先進的なトレーニング方法の開発が可能
- ④ボルダー（アメリカ）や昆明（中国）などの海外高所トレーニングの代替地として、比較的容易に地下空間を利用した低酸素による高所トレーニングが可能
- ⑤細長い線状の地下空間（トンネル）は、ランニング施設に活用可能
- ⑥地上施設や屋外施設に比べ、風雨や温湿度などの気象の影響を受け難く、内部空間の環境調整が容易
- ⑦地上施設に比べ外気温変動時の負荷が少なく、空調の省エネやCO₂削減などが可能
- ⑧新築施設に比べ、周辺環境や自然環境への影響および経済的負担が少ない
- ⑨現在の計画では、対象施設は陸上競技場や市営地下鉄の駅に近く、都心部からのアクセスも良く、非常に利便性の高い場所に位置しており、スポーツ振興や市民などの健康増進の拠点として地域の活性化も可能

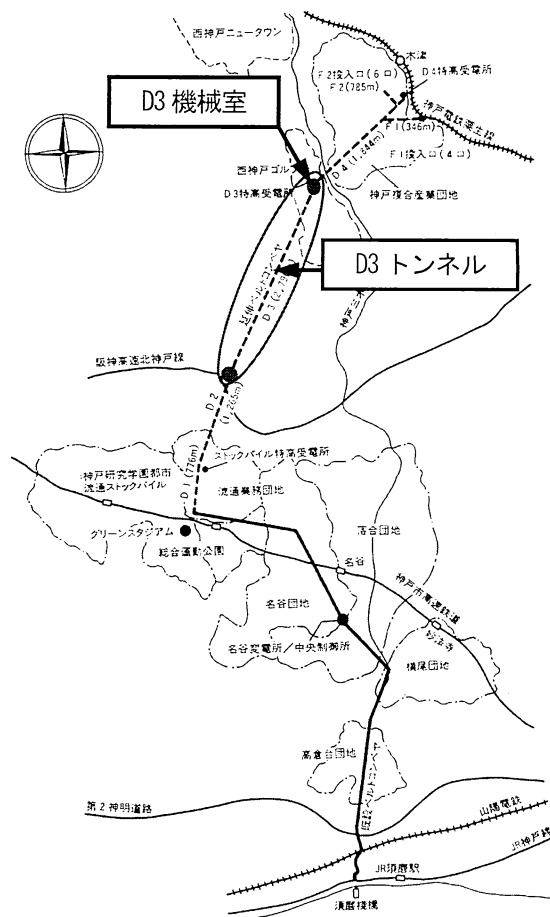


図-3 ベルトコンベアトンネルの全体位置図

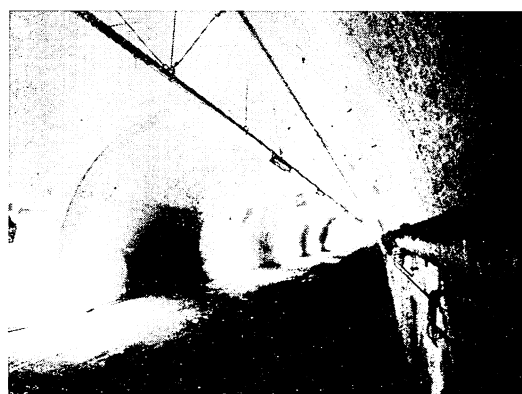
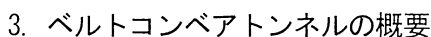


写真-1 転活用部のトンネルの内観



(1) ベルトコンベアトンネルの位置図

図-3にベルトコンベヤトンネルの全体位置図を示す。
 その中で、陸側部のベルトコンベヤトンネルの一部
 (D3機械室およびD3トンネルの一部)を「低酸素スポ
 ーツ環境施設並びに高酸素リハビリ施設」として転活用
 するための防災計画について検討した。

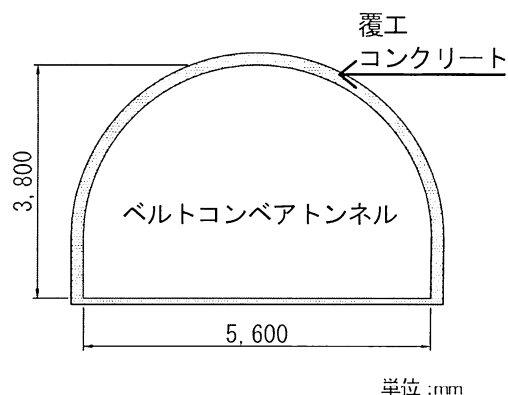


図-4 トンネルの標準断面

(2) 転活用部のトンネルの現状と標準断面

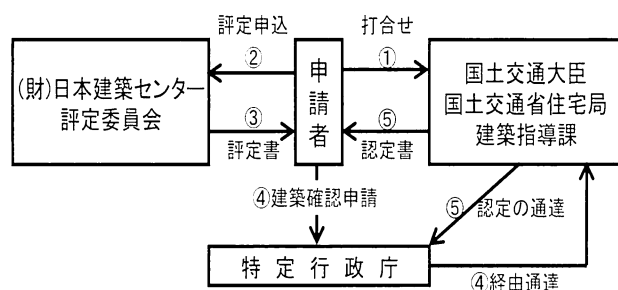
転活用するために検討しているトンネル内の現状（写真-1）とトンネルの標準断面を図-4に示す。

4. 防災設備に関する法規制

一般的な建築物や設備については、以下のような建築基準法をはじめとする関連法規で規制されている。

- ・建築基準法
- ・消防法
- ・火災予防条例
- ・神戸市防災計画指導指針¹⁰⁾ など

今回検討している地下空間利用施設などの特殊施設においては、建築基準法などの規制にあてはまらない点が出てくるため、建築基準法などだけでは必要十分な避難方法や排煙設備などの防災設備の判断が難しい。

図-5 防災評定申請の手順 (例) ¹¹⁾

このため、建築基準法などに準拠した性能評価が必要になってくる。このような場合には、国土交通大臣から指定登録され、性能評価などの業務を実施している日本建築センターなどで防災計画評定を取得する必要がある。

防災評定の申請の手順を図-5に示す。なお、防災計画の他に、構造安全性能評価、各種構造評定および耐震診断評定なども別途必要になることもある。

5. 防災設備計画

(1) 施設規模の設定

防災設備計画については、施設利用者サイドのご意見を参考に、以下の規模を想定した場合について検討する。

①既存のD3トンネル（内空幅5.6m，内空高さ3.8m；図-4参照）を整備し，トレーニング走路として活用する。

②トレーニング走路の施設規模（図-6 参照）は下記による。

- ・トレーニング走路案1 片道走路 200m×1=200m
- ・トレーニング走路案2 往復走路 200m×2=400m
- ・トレーニング走路案3 片道走路 400m×1=400m
- ・トレーニング走路案4 往復走路 400m×2=800m

(2) 施設の利用条件

防災設備計画の検討においては、検討条件を明確にしておくことが重要である。ここでは、以下のような条件の下で検討を行う。

①不特定多数の人間が使用する施設であるが、使用に関

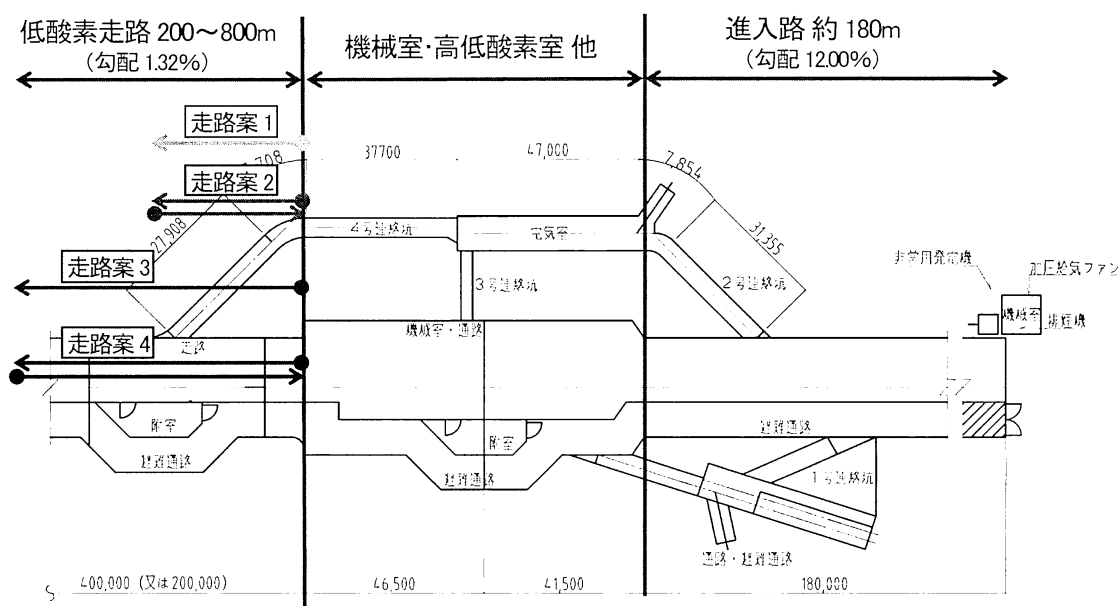


図-6 トレーニング走路の計画規模説明図

しての種々の制限，規制を設ける．例えば，可燃物持ち込み制限や入場者数制限など．

- ②施設内での火気使用は無く，火元となる可能性のあるものは電気設備程度に限定され，ガスなど使用無し．
- ③可燃物の使用は無く，可燃物は施設利用者の着衣と利用者に限定される．従って，火源の量も不特定多数の人間が利用する施設としては極少と考える．
- ④トレーニング走路の使用形態は，走者と伴走者を基本とするが，伴走者は走者の後方を伴走する．伴走者専用の走路は設定しない．さらに，単独走者の場合は機械的に補助し，双方向での通話が可能な設備を設置する．例えば，インカム，監視カメラおよび放送設備などである．
- ⑤トンネル断面において避難通路を優先的に確保する．避難通路の幅は，建築基準法の廊下規定に準拠し，1.2m（片側居室）以上または1.6m（両側居室）以上で設定する．
- ⑥トレーニング走路の幅は，屋外体育施設基準（日本陸上競技連盟）に準拠し，1.22～1.25mとする．

(3) 防災計画の基本的な考え方

防災計画の基本的な考え方を以下に示す．

a) 防災計画の基本方針

当施設は，不特定多数の人間（競技者及びその関係者など）が使用する地中内のスポーツ練習場（酸素調整型トレーニング施設）である．従って，その安全性の確保と災害の発生および拡大の防止を基本方針とする．

b) 火災発生の抑制

内装の不燃化，可燃物の持ち込み制限，入場者数の制限，火気使用の厳禁など，火災の発生を抑制する．

c) 安全性を考慮した避難通路の設置

避難通路は，特別避難階段に準じた構造とし，トレーニング走路，高低酸素室，機械室など（以下「走路など」）とは防火・防煙区画を有するものとする．通常使用する走路などと並行し附室・避難通路を設置する．附室は第一次安全区画とし，走路などからの二方向避難が可能なよう附室を30～50m間隔で設置する．

設置間隔は，避難距離と避難時間などの詳細検討により決定する．また，避難通路を第二次安全区画とし，そこから直接屋外出口に避難する．詳細は，避難性状シミュレーションなどにより検討を要する．

d) 加圧防煙方式による煙制御

避難通路として区画された安全区画への煙の侵入を抑制するため，走路と避難通路の間に気圧差を設ける．即ち，避難通路を加圧給気し，正圧にすると共に，トレーニング走路から機械排煙を行う加圧防煙システムを採用する．その為，遮煙計画を行い（財）日本建築センターなどによる評定・認定を受け，より高度な安

全性・防災性能を確保する．

e) 適切な火災感知・初期消火設備の設置

火災発生から覚知，通報，避難および消火に至る各設備は，法令に準拠し設置する．但し，関係消防機関との協議を要する．走路などには煙感知器・熱感知器などを設置し火災の早期発見を行う．また，消火設備はスプリンクラー設備を設置し，消火器による初期消火以降は避難を優先し，内部での人為的消火活動は行わず機械的自動消火とする．

f) 防災電源の設置

防災機器の停電時駆動電源として非常用発電機を設置する．また，消防隊の消火活動に必要な非常コンセントを設置する．

g) 非常照明・誘導灯などの設置

避難誘導及び消火活動に必要な非常照明及び誘導灯・誘導標識を設置する．

h) 防災センターの設置

トンネル入口部に防災センターを設置し全ての防災監視を行い，災害時の防災拠点とする．防災センターには自動火災報知設備表示装置，避難誘導放送設備，スプリンクラー設備起動表示装置および消防機関に常時通報できる電話設備などを設置する．

i) 自主管理組織の設置

自衛防災組織を編成し，常時の火気管理・監視・点検，災害時の避難誘導，初期消火などの対応を行う．

j) 空調換気設備との連動

防災設備は，施設内の空調・換気設備との連動を確保し，災害時の運転停止を行い，防災設備機能を優先確保する．

(4) 設置を要する防災設備

防災設備として設置が必要なものは以下に示すとおりである．

- ①警報設備：自動火災報知設備・非常警報設備（放送設備など）
- ②通報設備：消防機関通報用専用電話設備
- ③消火設備：消火器・スプリンクラー設備など
- ④延焼防止設備：防火戸・防火防煙シャッター・防火ダンパー・防火区画・内装不燃化など
- ⑤避難設備：安全区画（附室・避難通路）・非常照明・誘導灯・誘導標識
- ⑥排煙設備：排煙区画・排煙設備（排煙機・加圧給気ファン）
- ⑦消防用水：防火水槽（補給用水道共）
- ⑧消防活動上必要な設備：連結送水管・非常コンセント設備
- ⑨非常電源設備：非常用発電機（消火ポンプ・排煙機・加圧給気ファン用）

(5) 設置を要する部屋および建物

設置を必要とする部屋および建物は以下に示すとおりである。

- ①防災センター：D3発進坑の入口外部エリア
- ②消火ポンプ室：D3発進坑の入口外部エリア
- ③機械室：D3発進坑の入口外部エリア
- ④非常用発電機：D3発進坑の入口外部エリア(屋外設置)
- ⑤消防用水（防火水槽）：D3発進坑の入口外部エリア（屋外設置）
- ⑥受変電設備：D3発進坑の入口外部エリア（屋外設置）

(6) 避難通路・防排煙設備計画

第一安全区画、第二安全区画を明確にした上で、避難経路を図-7に示す。

(7) トレーニング走路の計画

D3トンネルにおいて所定の避難通路幅を確保した場合、トレーニング走路の幅については2種類が考えられる。図-8にトレーニング走路幅が1.8mと1.6mを想定した場合を示す。

(8) 排煙・加圧防煙システムについて

トレーニング走路と避難通路については、正圧と負圧

などを考慮した排煙・加圧防煙システムについて図-9に示す。

(9) 防災システム

情報処理に関する計画、火災そのものに対処する計画および本格的消火活動に対する計画を基に、本施設における防災システムを図-10に示す。

6. 今後の課題

D3機械室およびD3トンネルの一部を利用した「酸素調整トレーニング施設並びに高酸素リハビリ施設」の防災設備計画について、設定条件の下で検討したが、実際に使用するアスリートの意見なども考慮した施設計画が必要である。以下は、よりよい施設として利用価値の高い施設にするための今後の課題について列記する。

- ①避難通路を確保した場合、走路の幅員はランニングトラックとして実用上適切か検討を要する。
- ②避難通路の幅員は、避難者数や避難時間の検証により、当初計画幅が妥当か検討する必要がある。または、避難通路幅ごとに入場者数の制限が必要になる可能性もある。
- ③附室などのスペースを確保するためトンネルを部分拡

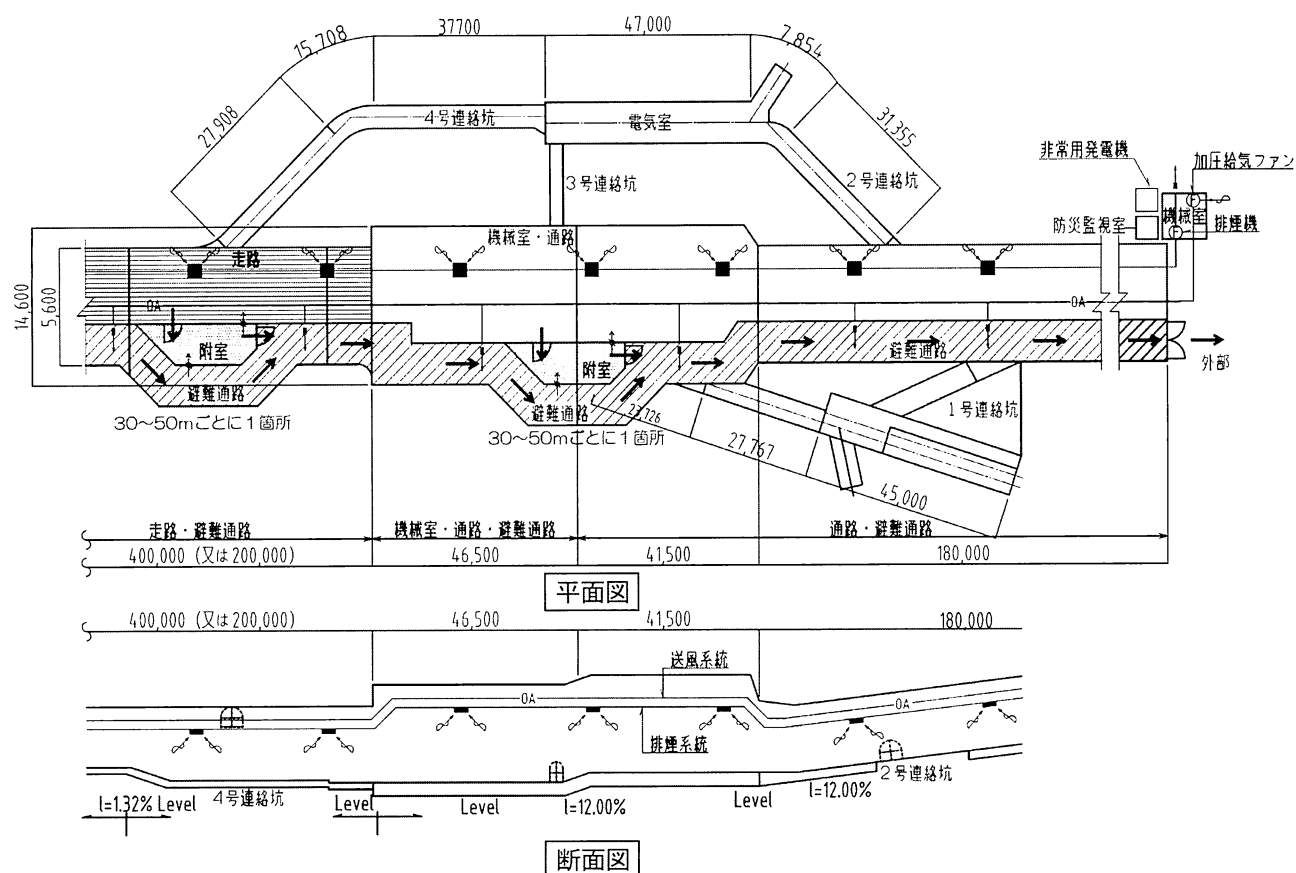


図-7 避難通路

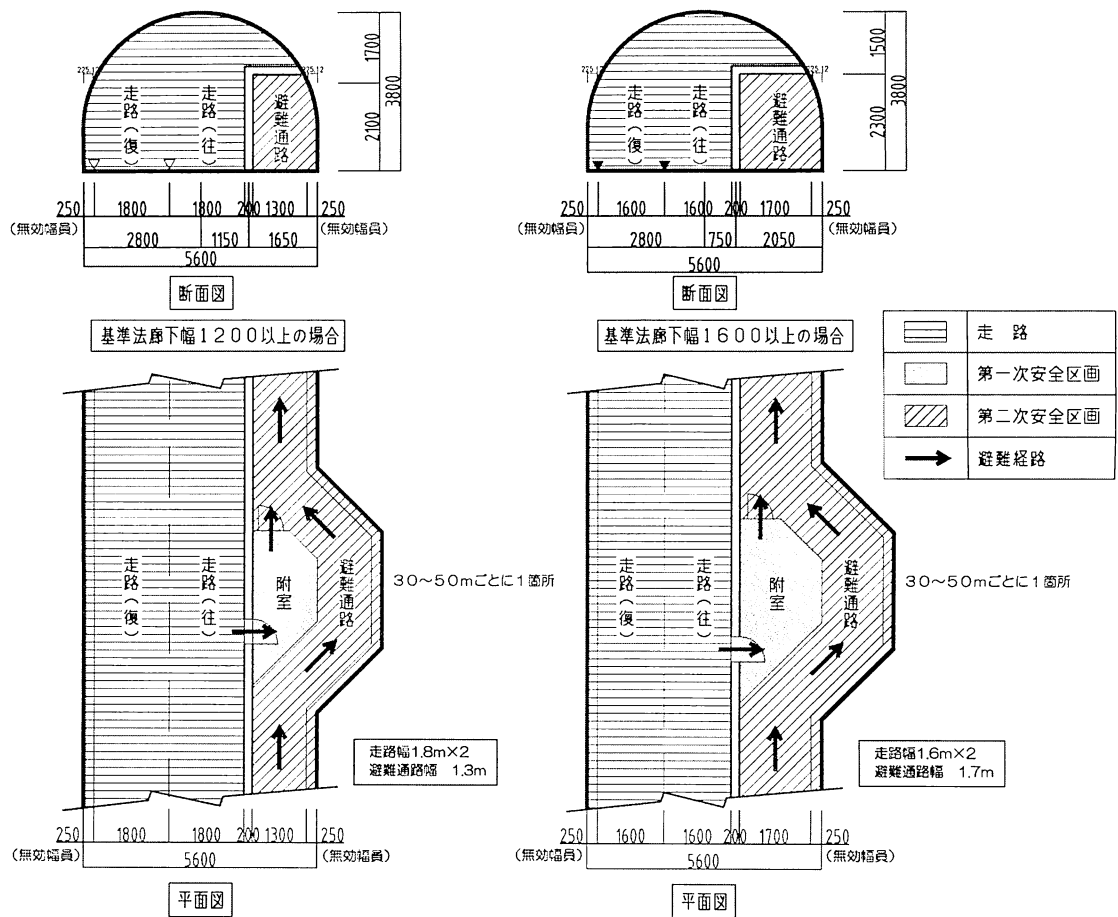


図-8 D3 トンネルにおけるトレーニング走路の幅（幅；1.8m と 1.6m の2種類）

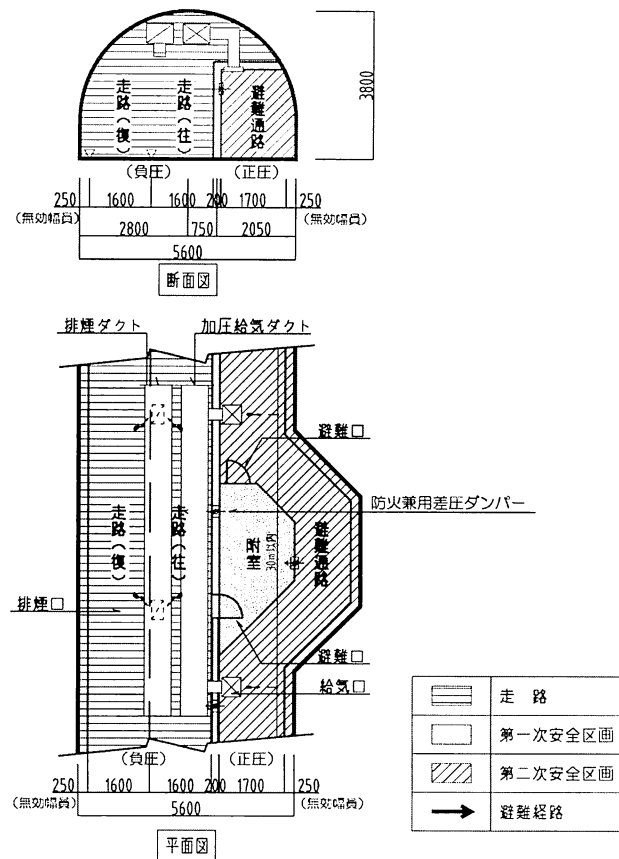


図-9 排煙・加圧防煙システム

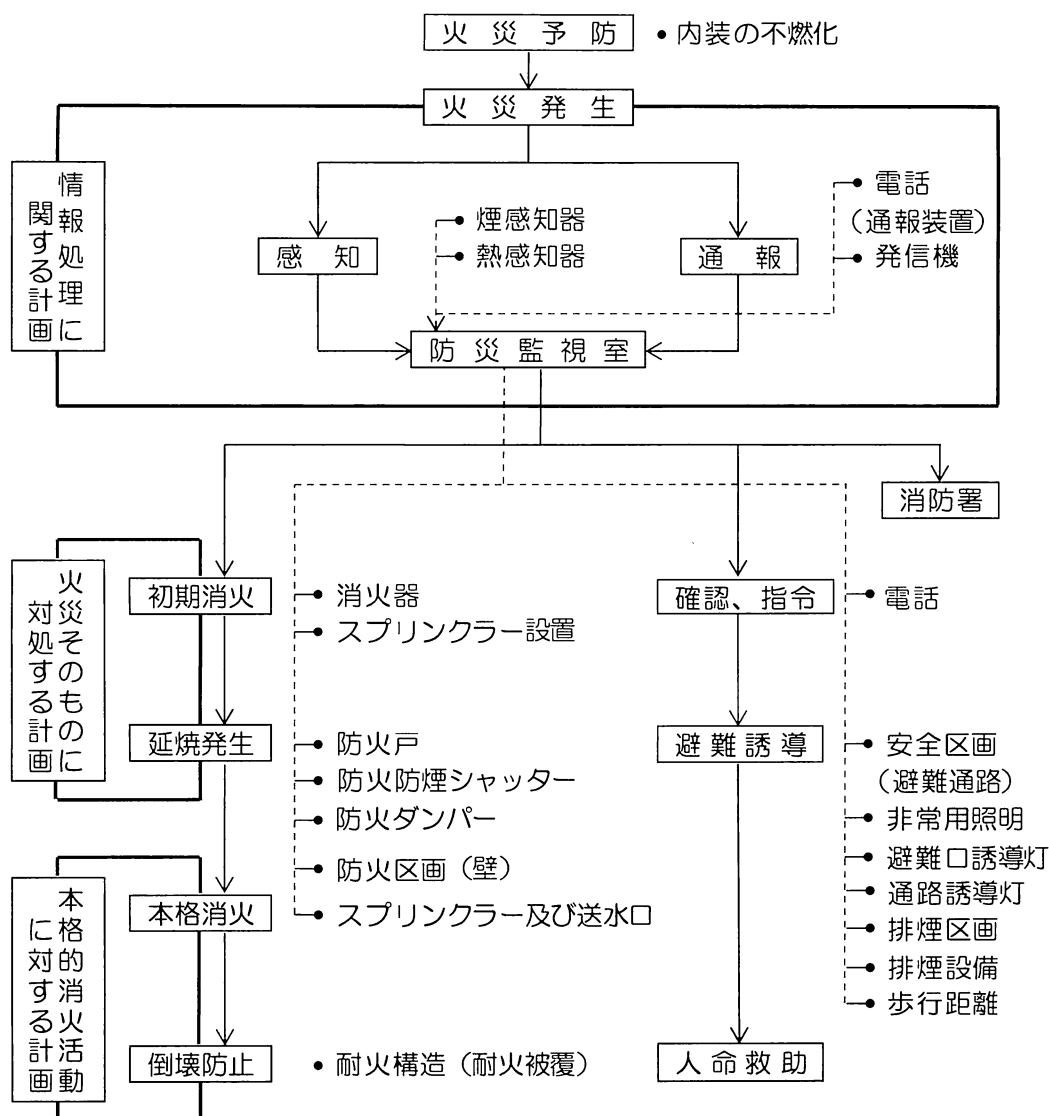


図-10 防災システム

幅する必要もある。その場合、トンネル構造の補強の必要性について検討を要する。

④昨今の状況から、レベル2地震動を想定したトンネル構造の安全性も確認する必要がある。

⑤今回の防災設備計画は、「高山祭りミュージアム」⁸⁾の事例をもとに作成した素案である。今後、本計画をより具体化するにあたっては、避難安全性能の検証などの詳細検討や諸官庁行政との十分な協議が必要となる。

⑥「高山祭りミュージアム」^{12), 13)}と異なる下記条件についても考慮を要する。

- ・避難通路の長さ：トレーニング走路から地表出入口までの距離180m

- ・トンネル勾配：全長2,659mで勾配1.32%，高低差35.1m → (走路400mで1.32%，高低差約5.3m。往復走路の場合は、上り勾配と下り勾配の走路となる。)

⑦トレーニング走路に附室や避難通路を設置しない方策を、安全性を十分確保しながら、法規制の面から可能

性を検討し、利用者であるアスリートなどの低酸素トレーニング環境を高める検討も要する。

7. おわりに

わが国を取り巻く社会構造の変化に迅速に対応していくためには、これまでの学問領域を越えて、様々な分野の研究者・技術者が集まり、垣根を越えて知恵を出し合うことによって、ソリューションを提供して行くことが必要であると考えている。特に、7割近くある山間地の有効利用を考えると、地下空間利用は不可欠な技術となり、その専門技術は、ますます重要な技術の一つになるものと考えている。この分野の研究者などは当然のことと思っている技術が、当該分野に所属していない研究者などからは革新的なものとして捉えられることもある。

本論文では、産業遺産として残されている狭くて細長

い線状の地下空間を有効に転活用する方法の一つとして、低酸素スポーツ環境を実現する本格的なランニング・トラックを備えた環境調整型トレーニング施設への転活用に関する防災計画について整理した。その役目を終えて放置されている地下空間であっても、視点を少し変えて転活用の方法を検討すれば、わが国の抱えている課題に対する一つのソリューションを提供できる。加えて、新たな取り組みについては、いろいろな課題に直面することになる。例えば、今回のような低酸素スポーツ環境施設の建設には、スポーツ医科学、建築設備学や地下空間・トンネル工学および地盤工学などのさまざまな専門分野の課題を解決し、各分野間の十分な調整を図った上で、アスリートはもちろん、中高大学生や実業団のスポーツ選手、更に一般市民の方々などの利用者が快適で、安全性の高い施設建設を行っていくことが重要となる。

謝辞：本研究成果は、平成22年度において神戸市から(財)建設工学研究所へ委託された研究の1つとして実施されたものである。加えて、神戸市みなと総局技術部長谷川憲孝氏には、神戸ベルトコンベアトンネルの維持管理面から貴重かつ詳細なご意見を頂いた。ここに記して謝意を表す。

加えて、平成22年度 ベルトコンベアトンネルの転活用に関する検討委員会(委員長：櫻井春輔)の委員の方々(スポーツ医科学分野については、浅野勝己先生(筑波大学名誉教授)、西保 岳先生(筑波大学)、近藤徳彦先生(神戸大学)、小川剛司先生(徳山大学)、高酸素リハビリ分野については、石井良昌先生(広島大学)、高校・実業団の駅伝監督である武富 豊氏(天満屋)、永里 初氏(山陽特殊製鋼)、長谷川 重夫氏(須磨学園高校)、榎本隆夫氏(加古川西高校)、宮永正俊氏(明石北高校)、吉井道昭氏、柴田 洋氏(兵庫陸協)、防災設備計画については、二木 龍一郎氏(飛島建設)、低酸素トレーニング走路の設置計画については、大屋康幸氏(竹中工務店)、低酸素器械装置については、吉田良一氏(ワイ・ケー・エス)および地下空間利用分野については、近久博志先生(山口大学)、今泉暁音氏

(山口大学)、小林 薫氏(飛島建設))から、示唆に富む貴重なご意見・ご鞭撻を頂いた。ここに、記して感謝の意を表す。

さらに、図面や原稿作成においては、飛島建設(株)藤間律子氏および染谷京子氏に多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 近久博志, 小林 薫, 阿保寿郎, 櫻井春輔: 産業遺産として残されている地下空間を利用した環境調整型トレーニング施設の課題と可能性について, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 14 巻, 土木学会, pp.95-100, 2009.
- 2) <http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf#search='新成長戦略'> (2011/10/28 参照).
- 3) <http://www.city.kobe.lg.jp/information/project/port/tunnel/idea.pdf#search='神戸市 ベルトコンテナネル'> (2011/10/28 参照).
- 4) <http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80703a02j.pdf#search='地下空間 展示館'> (2011/10/28 参照).
- 5) <http://www.oya909.co.jp/museum/index.html>.
- 6) <http://www.city.kobe.lg.jp/information/press/2010/03/2010031213001.html> (2011/10/28 参照).
- 7) <http://innoplex.org/archives/6266> (2011/10/28 参照).
- 8) 浅野勝己, 小林寛道 編著: 高所トレーニングの科学, 日本運動生理学会 運動生理学シリーズ 6, pp.1-19, 杏林書院, 2004.
- 9) 小室徳義, 近久博志, 木村龍司, 小林 薫: 岩盤地下空洞を利用した高山祭屋台美術館, ビルディングレター, 日本建築センター, No.326, pp.7-15, 1995.
- 10) <http://www.city.kobe.lg.jp/information/public/comment/urban/bousaikaikaku/img/bousaikaikakushishin.2.pdf> (2011/10/28 参照).
- 11) 稲田善紀 著: 岩盤工学, pp.199-200, 森北出版, 1997.
- 12) 中田金太, 近久博志, 小林 薫, 吉元 洋: 国内初の岩盤地下美術館, トンネルと地下, 第 27 巻, 第 3 号, pp.35-41, 1996.
- 13) S.Sakurai, H.Chikahisa, K.Kobayashi, M.tsutsumi: Design and construction of the Takayama festival underground art museum, Japan, Underground Construction in Modern Infrastructure, pp.3-11, 1998.