

不特定多数が常時入場する文化・スポーツ施設 としての岩盤地下空洞に関する考察

A Study on Cultural Facilities and Sports Facilities using Underground Rock Cavern for Public Use

近久 博志*・小林 薫**・松元 和伸**・小川 正二***

Hiroshi CHIKAHISA, Kaoru KOBAYASHI, Kazunobu MATSUMOTO and Syouji OGAWA

Cultural facilities and sports facilities using underground rock cavern has been well experienced in North Europe and North America. In Japan, there are many underground rock cavern for power houses and oil storage's, however it is difficult to find cultural facilities and sports facilities using underground rock cavern.

In this paper, a survey has been conducted and technical reports on the character of cultural facilities and sports facilities using underground rock cavern on North Europe have been carefully investigated in order to discuss. In future, it explore a problem for planning and design of cultural facilities and sports facilities using underground rock cavern.

Keywords: Cultural facilities, Sports facilities, underground rock cavern, public use

1. はじめに

国内における大規模な岩盤地下空洞は、昭和40年代以降になって盛んに建設されるようになった地下揚水発電所をはじめ、地下式石油備蓄基地などこれまで数多く建設されてきた¹⁾。国土の約7割を山間部で占められているわが国において地下空間を活用することは、国土の有効利用や自然環境の保全などの観点から有効である。また、近年では、鉱山の採掘跡・坑道などを利用した観光施設²⁾や建築物の多様化・複合化に伴い、新たに大規模な岩盤地下空洞を構築し完成後に不特定多数が常時入場できる文化・スポーツ施設などのエネルギー関連施設とは異なる施設の計画が見られるようになってきた^{3), 4)}。この岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設については、ノルウェーのオリンピック・マウンテン・ホール⁵⁾に代表されるように、堅固な安定した岩盤が主体である北欧諸国や北米などを中心に数多く建設されている。しかしながら、わが国は過去に多くの造山・風化作用を受けたため著しく複雑な地質条件を有する他、地震国で亀裂の多い岩盤からなっており、土被りの浅い岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設を建設するには地震時の安定性等の課題もあり、構想や試設計段階で止まり未だ実績がなかった。このような状況の中、大規模な岩盤地下空洞を利用したわが国初の地下式美術館(高山祭り美術館⁶⁾)の建設が進められているが、類似施設が数多く建設されるためには、今後多くの研究・実験等を実施していく必要

* 正会員 工博 飛島建設株式会社 技術研究所

** 正会員 工修 飛島建設株式会社 技術研究所

*** 正会員 工博 長岡工業高等専門学校 校長

があるものと考えられる。本論文では、これらの研究・実験等に資することを目的として、文献を中心に海外の代表的な文化・スポーツ施設の実績を紹介するとともに、文化・スポーツ施設としての岩盤地下空洞の特徴を整理・考察し、今後の文化・スポーツ施設の計画・設計時の課題について探るものである。

2. 海外における岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設の実績

海外における岩盤地下空洞を利用した代表的な文化・スポーツ施設は、北欧諸国において多く建設されており、ここでは北欧諸国の施設を中心に整理し、その概要について概述する。

(1) 岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設の実績

表－1 に岩盤地下空洞を利用して建設された代表的な文化・スポーツ施設の概要を示す。各施設とも平常時は文化・スポーツ施設として利用されているが、非常時には防災シェルターとして周辺の住民が利用できるような設備が備えられている。また、各施設とも完成後の用途上から土被り30m以下の浅い位置に建設されていることが分かる。

表－1 岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設の概要^{6)～13)}

施設名	立地国	主要空洞の規模	掘削量(m ³)	岩種	最小土被り(m)	シェルターの収容人員(人)	完成年度
		(幅×高さ×長さ)(m)					
ODDA S. H.	Norway	25.0×14.0×50.0	19,800	花崗岩		2,000	1972
Gjovic S. P.	Norway	20.0×13.0×40.0	11,500	石灰岩		1,750	1975
Skarerrhallen S. H. & S. P.	Norway	25.0×15.0×45.0	27,600	片麻岩	15.0	4,000	1980
Holmen S. H.	Norway	25.0×13.2×45.0	35,600	石灰岩		5,500	1982
Taerud S. H.	Norway	25.0×13.0×50.0	35,000	片麻岩		4,000	1982
Vassoyholtet Activity C.	Norway	10.0×6.5×25.0	5,500	花崗岩		1,635	1982
Holmlia S. H. & S. P.	Norway	25.0×13.2×45.0	53,000		16.0	7,500	1983
Gjovic ice hockey H.	Norway	61.0×24.0×91.0	165,000	片麻岩	25.0	5,830	1993
Hervanta S. H.	Finland	主要施設＝25mプール	94,000		25.0	16,500	1978
Varissuo ice-rink H.	Finland	33.0×11.7×78.0	85,000		25.0	11,000	1981
Kannusillanmaki air-raid	Finland	16.4×9.2×150.0	40,000		30.0	2,400	1981
Dual-role S. H.	Finland	28.6×11.1×44.6	47,500	片麻岩	30.0	1,200	1988
Itakeskus S. P.	Finland	24.2×12.5×62.0	61,000	花崗岩	17.0	3,800	1993

※) 施設名；S. H.＝スポーツ・ホール，S. P.＝スイミング・プールを示す。

北欧諸国における岩盤地下空洞を利用した最初の文化・スポーツ施設は、文献から1960年代に小規模な体育館がフィンランドに建設され、それ以降多くのスポーツ施設やスイミング・プール等が花崗岩、片麻岩および石灰岩等の各種岩盤を掘削し建設されてきた。一般的な文化・スポーツ施設としての岩盤地下空洞の規模は、空洞幅が20～30m程度、高さは10～15m程度である。近年では、空洞幅が61m、高さが24mの大断面のアイスホッケー場や総掘削量の大きな岩盤地下空洞が建設されるようになってきている。

図－1、図－2には北欧諸国における各種文化・スポーツ施設の建設年次と空洞幅、空洞の総掘削量との関係について示したものである。これらの図より、文化・スポーツ施設としての岩盤地下空洞は、空洞幅並びに総掘削量とも完成年次と共に増大する傾向を示している。わが国でも、岐阜県高山市において掘削幅（直径）＝40.5m、高さ＝20m、総掘削量＝約3万m³の岩盤地下空洞を利用した地下式美術館が建設中で、1998年春には完成予定である。

(2) 岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設の経済性

同一規模の施設を地下あるいは地上に建設する際、北欧などの極めて良質な岩盤の場合には、岩盤内の地下施設の建設コストの方が地上施設に比較して低廉になることもあるようであるが¹⁴⁾、一般的には地下施設の方が建設コストが高い傾向にある。

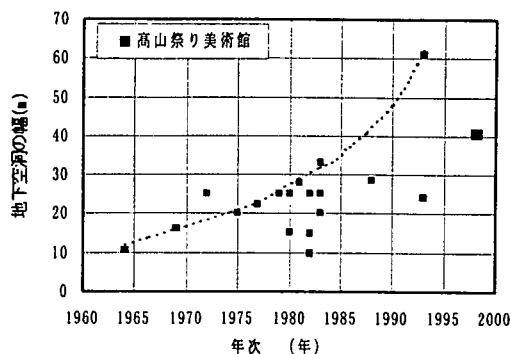


図-1 建設年次と空洞幅との関係

例えば、建設コストやランニングコストに関する実績データが多いフィンランド^{*)}の場合は、表-2に示すように地下施設の建設コストの方が全般的に高く、構造物の用途の違いにより地下施設の建設コストは、地上施設に比較して各平均値では1.24～2.79倍になっている。

図-3には、竣工後のランニングコスト(人件費を除いたエネルギー消費を示す)について、地下施設と地上施設のエネルギー消費の比率を示したものである。地下施設のランニングコストは、同一規模の地上施設のランニングコストに比較して50~80%程度で60%前後が多いことが分かる。アイスホッケー場については、事例が少なく明確なことは言えないが、地下施設のランニングコストは地上施設のランニングコストに比較して1/4(25%)と極めて経済的であることが分かる。

以上のことから、一般的には地下施設は、地上施設に比較して建設コストが高くランニングコストは低いものと言える。今、ここで地下施設と地上施設の経済性を比較しやすくするために、概算ではあるが建設コストとランニングコストを含めたトータルコストについて比較検討を行う。比較検討を行う構造物としては、ここでは岩盤地下空洞を利用したスイミングプールを想定する。プールの規模は、イタケス・スイミングプールと同規模の床面積=10,000m²とし、各施設の建設コストは表-2の地下施設(4,550Fmk/m²)、地上施設(4,000Fmk/m²)とも建設単価が最も高い値を参考にして算出した。また、ランニングコストについては、文献16)のGjovic

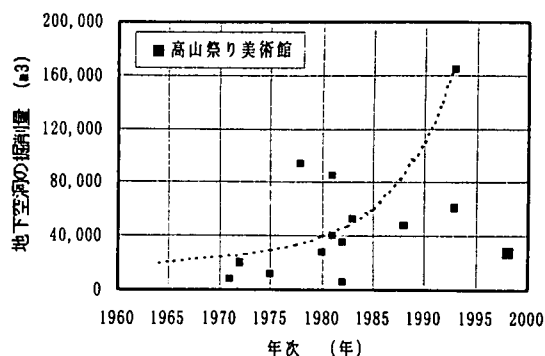


図-2 建設年次と総掘削量との関係

表-2 各施設の建設コスト比較例¹⁵⁾

用 途	①地下施設	②地上施設	①/②
storage	2850~3000	900~1200	2.79
hobby halls	3050~3300	1000~1300	2.76
sport & leisure	3250~4250	1800~3000	1.56
swimming pool	4150~4550	3000~4000	1.24

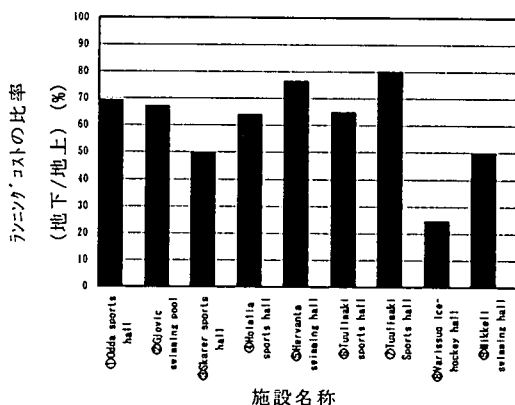


図-3 地下施設と地上施設のランニングコスト比較

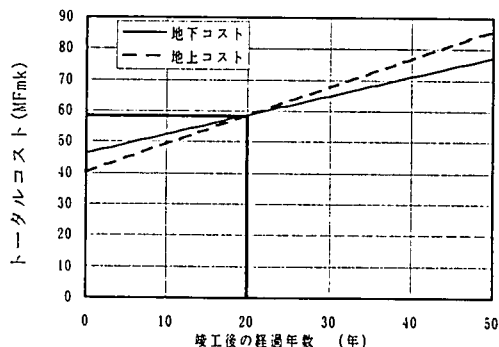


図-4 竣工後のトータルコストの比較(スィミング・プール)

スイミングプールの年間消費エネルギーの実績(1988年)等から推定するものとした。図-4は、前記の想定した

スイミングプールの竣工後の経過年数とトータルコストの関係を示したものである。この図より竣工当初は、地下施設の方がトータルコストは高いものの20年経過後には、地上施設の方が地下施設のトータルコストよりも高くなることが分かる。このことから、建設場所や気象条件等が影響するものと考えられるが、スイミングプール等では長期的には地下施設の方がトータルコストは低くなり経済性が高い構造物と考えられる。しかしながら、ここで示した比較結果は、スイミングプールを想定した1つの試算であり他の施設等では当然異なるものと考えられる。建設する構造物によって地下と地上施設との経済性に差があり、また国土の約7割が山間部で占められるわが国においては、地下のメリットを十分に活かした岩盤構造物を建設していくことは、大深度地下利用とともに土地の高度有効利用が図れるものと考えられる。したがって、今後わが国において、岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設がますます増加するものと考えられることから、北欧諸国の文化・スポーツ施設の特徴について整理・考察し、これまで国内で数多く建設されてきたエネルギー関連施設と比較しながら、今後の岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設の計画・設計時の課題等について探る。

3. 文化・スポーツ施設としての岩盤地下空洞の特徴

(1) 岩盤地下空洞の形状

図-5に種々の岩盤地下空洞の形状を重ねて比較したものを示す。図より、文化・スポーツ施設としての岩盤地下空洞は、これまでの地下発電所などの縦長の空洞形状ではなく横長の扁平な空洞形状であることが分かる。これを扁平度（空洞高さ／空洞幅と定義する）を用いて示したものが図-6である。これまでの地下発電所や地下式石油備蓄基地は扁平度1.5～2前後にあるのに対して、文化・スポーツ施設では用途上から扁平度0.5前後であることが分かる。わが国初の地下式美術館である「高山祭り美術館」においても扁平度0.5となっている。このことから、今後建設される岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設の空洞形状は、用途上等から横長の扁平度0.5程度と考えられる。また、地下発電所などで問題となることが多かった空洞側壁部分の大きなゆるみ領域の発生は形状的にほとんどなくなるものと考えられる。しかし、文化・スポーツ施設としての岩盤地下空洞は、図-1に示すようにスパンが年々大きくなっており掘削時の天端沈下量（ゆるみ領域）を抑えることが安定性確保の面で最も重要になってくる。

図-7に高山祭り美術館掘削時の空洞天

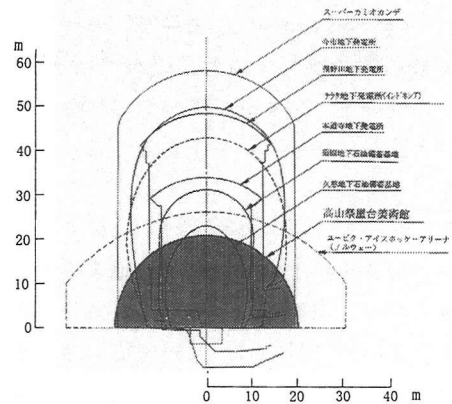


図-5 各種岩盤地下空洞の掘削断面の比較

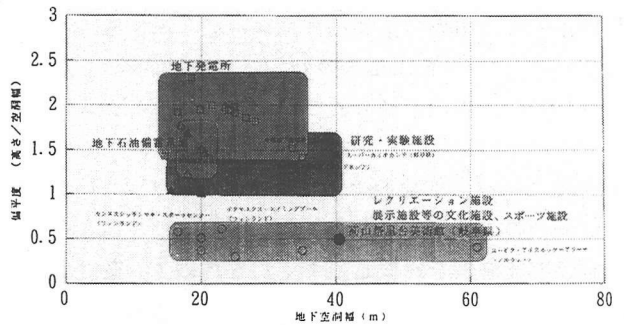


図-6 各種岩盤地下空洞の扁平度（高さ／空洞幅）

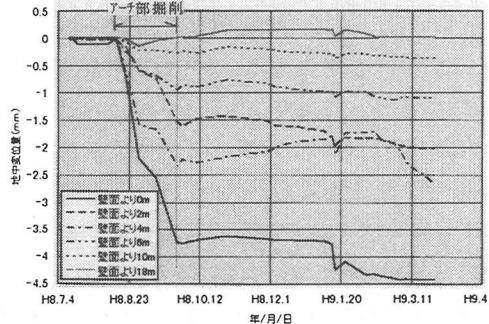


図-7 岩盤地下空洞掘削時の天端沈下量

端部の岩盤挙動を示したものである。掘削時の天端沈下量は、半球状空洞のアーチ上部掘削時に全天端沈下量の8～9割程度が生じ、空洞下部掘削時にはほとんど天端沈下量は増加していない。したがって、文化・スポーツ施設としての岩盤地下空洞は、空洞アーチ部拡張時の初期段階に如何に天端沈下量を抑えて掘削するかが重要な管理項目の1つになることが分かる。

(2) 岩盤地下空洞の土被り

これまでわが国のエネルギー関連施設の多くは、図-8に示すように土被りが100～500mと非常に深い堅硬な岩盤内へ建設されてきたものがほとんどである。一方、岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設の場合、データ数は少ないが完成後に不特定多数の観客が常時入場することなど利用者の利便性や心理的な負担等から、土被り15～30m程度の1D（D：空洞幅）以下の比較的浅い位置に岩盤地下空洞が建設されていることが分かる。

わが国で建設中の高山祭り美術館（D=40.5m）の場合、土被り約30mで1D以下の浅い位置に建設されている。このように用途上、文化・スポーツ施設としての岩盤地下空洞は、土被りの浅い位置に建設されることが多く、岩盤地下空洞の安定性は地表面の起伏、地層変化、風化の影響および後述する地震の影響等を受けやすくなるものと考えられる。また、土被りが浅い場合には、掘削時に空洞上部の周辺岩盤が地表近くまで緩む可能性があり、前述したように地下空洞の安定性確保の面から空洞上部に発生するゆるみ領域を極力抑えることが、土被りの浅い岩盤地下空洞を建設する際の重要管理項目となる。このことは、ロックアンカーの定着位置の決定と大きな関係を有している。国内における大規模な岩盤地下空洞は、一般的に空洞周辺岩盤の安定性を確保するために長さ10～20m程度のロックアンカー（PSアンカー）を用いて補強されている。しかしながら、土被りが浅い岩盤地下空洞に対して空洞内部からロックアンカーを施工して補強する場合、ロックアンカーの最も重要な定着部は、空洞掘削時のゆるみ領域より深い位置（壁面より離れた位置）に定着する必要がある。しかし、土被りの浅い岩盤地下空洞では、上向きロックアンカーの定着部は地表に近くなり、ゆるみや風化等の影響を受けた場合には定着できない可能性がある。したがって、今後掘削時に空洞上部のゆるみ領域を極力抑える掘削方法の他、空洞内部からの岩盤補強法だけでなく土被りの浅い岩盤地下空洞の場合には、地表からの岩盤補強方法等についても検討していく必要があるものと考えられる。

(3) 建設位置の側圧係数（初期地圧）

岩盤地下空洞を建設する場合、建設位置の初期地圧は地下空洞の挙動に大きな影響を及ぼし、設計解析における初期条件の中でも重要な要素の1つである。そこで、これまでに建設された道路・鉄道の山岳トンネルや地下発電所などで計測等されてきた側圧係数を土被りとの関係について整理したも

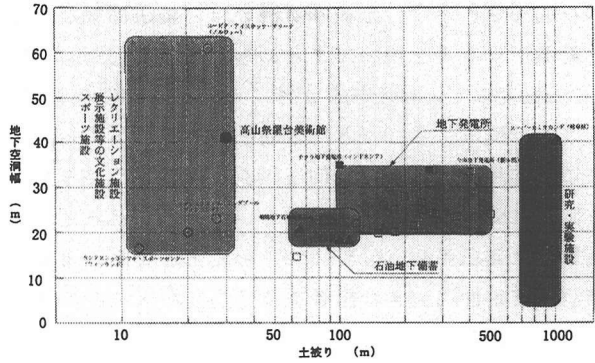


図-8 各種岩盤地下空洞の土被り

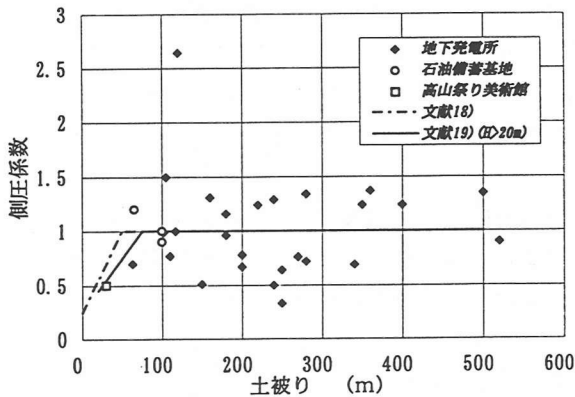


図-9 岩盤地下空洞の土被りと側圧係数の関係

のを図-9に示す。土被りが浅いほど側圧係数が大きくなるという報告もある¹⁷⁾が、国内の多くの試験・計測データ等を用いてまとめられた文献¹⁸⁾および文献¹⁹⁾では、バラツキはあるものの土被りが50～75m程度以下では土被りが浅くなるほど側圧係数は小さくなっている。高山祭礼美術館では、土被り約30mで側圧係数0.5と比較的小さい結果が得られている。したがって、建設地点の地形、地質構造や造山作用などによって側圧係数に幾分バラツキがあるものと考えられるが、一般的に土被りが浅い位置では側圧係数が小さいことが多いものと考えられる。N. Bartonら²⁰⁾がリビック・マウンテン・ホールに対して実施した側圧係数(0.5～3.0)を変化させた不連続体解析(UDEC-BB)の結果(表-3)では、岩盤地下空洞の安定性に大きな影響を及ぼす空洞天端部の最大変位量は側圧係数が小さいほど大きくなる傾向を示している。

このことは、鉛直方向の初期地圧が同一条件の場合には、側圧係数が小さいほど掘削に伴う空洞天端部の変位量が大きくなり、空洞の安定性は側圧係数の大きい岩盤内に建設される場合より相対的に良くないことを示しているものと考えられる。

(4) 岩盤地下空洞に及ぼす地震の影響

地上施設に比較して岩盤地下空洞を利用した地下施設は、一般的に地震時の安定性は高いとされている。しかし、文化・スポーツ施設としての岩盤地下空洞は、前述したように土被りが浅くて側圧係数の小さな岩盤内に建設されることが多い。したがって、土被りの深い位置に建設されてきた地下発電所等ではあまり問題にならなかった地震の影響が大きな問題になってくるものと考えられる。

図-10は土被りの浅い岩盤地下空洞の地震時の安定性に関する基礎的なデータを把握することを目的に実施した有限要素法による静的な応力変形解析の結果を示したものである²¹⁾。この図は、岩盤地下空洞の耐震性を考える際の1つの目安として、側圧係数と土被りと地震による空洞周辺岩盤の局所安全率の低下割合の関係を示したものである。土被りが浅いほど、また側圧係数が小さいほど、地震による空洞周辺岩盤の局所安全率の低下割合が大きくなっており、土被りの浅い岩盤地下空洞においては、掘削時の安定性だけでなく地震時の安定性評価も重要であることを示している。また、地形が凸な部分では平地に比較して地震動が増幅されることが明らかにされており²²⁾、土被りが浅い場合に

表-3 側圧係数の違いによる天端沈下量の差

空洞の規模	側圧係数 (k)		
	k=0.5	k=1.0	k=3.0
20m×10m	0.64mm	0.61mm	0.65mm
60m×10m	19.5mm	4.2mm	3.7mm
60m×20m	19.2mm	8.4mm	4.0mm

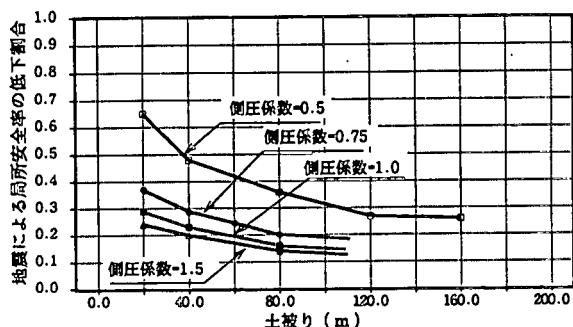


図-10 土被りと側圧係数と局所安全率の低下割合
鉛直応答加速度(gal) 水平応答加速度(gal)

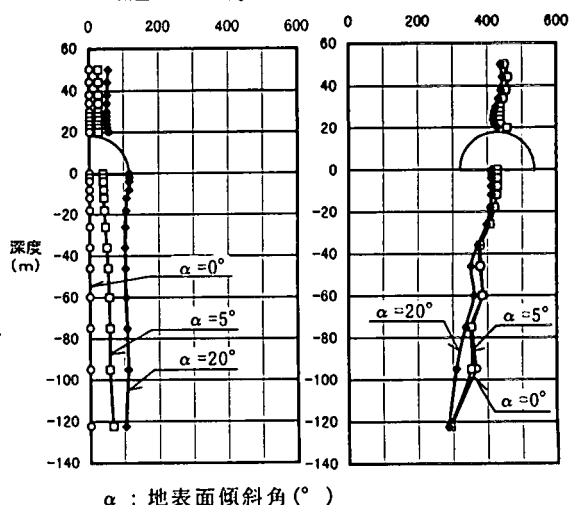


図-11 地表面傾斜の違いによる動的解析時の
応答加速度分布の違い
α: 地表面傾斜角(°)

は地表面の傾斜や起伏等の影響も受けやすいものと考えられる。図-11には複素応答解析法（修正 FLUSH）を用いて二次元解析モデルの側面をエネルギー伝達境界、底面を粘性境界として動的解析を地表面傾斜角（ α ）をパラメータにして実施した結果である。入力水平地震動は、解析モデル底面境界に作用させている²⁰⁾。解析結果による地下空洞周辺の応答水平加速度は、地表面傾斜が大きくなるほど小さくなり、反対に応答鉛直加速度は地表面傾斜が大きくなるほど大きくなっている。これは、底面境界に入力した水平地震動が、地表面等で反射することによって鉛直成分が発生し、水平成分が減少するためであると考えられる。このことから、地震時の安定性評価においては、水平震度だけではなく、鉛直震度の影響も大きく受ける可能性があるため、地震時の安定性評価は地形・地質的な面も含めて水平と鉛直の設計震度や入力地震動等について十分検討することが必要と考えられる。しかし、地震時の地下空洞の安定性評価については、岩盤の不連続面特性の他、動力学的特性の把握や地震時のゆるみ領域の定義など難しい問題も残されており、今後精力的な研究・実験によって解明していくことが必要と考えられる。

4. まとめ

岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設について、海外（主に、北欧）における実績および特徴等を整理し、これまで国内において数多く建設されてきたエネルギー関連施設（地下発電所など）等と比較しながら考察を行い、今後の岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設の計画・設計時の課題等について以下にまとめて示す。

- (1) 岩盤地下空洞の形状は、これまでの縦長のエネルギー関連施設とは異なり、用途上から横長の断面形状となり、その地下空洞の扁平度（高さ／幅の比）は0.5程度である。また、文化・スポーツ施設としての岩盤地下空洞の場合、空洞高さに比較して空洞幅がかなり大きくなってきており、地下空洞の安定性確保の面でアーチ部掘削時の初期段階における天端沈下量やゆるみ領域を如何に抑えるかが最も重要である。
- (2) 岩盤地下空洞の土被りは、完成後の利用者の利便性等から土被りが15～30m程度（1D以下）の浅い位置に建設されることが多い。その際、空洞の安定性確保のために一般的には空洞内部からロックアンカーで岩盤補強することが多く、定着部が地表に近くなり風化等の影響を受けている岩盤の場合には定着できない可能性がある。従って、土被りが浅い場合には空洞内部からの補強法だけでなく地表からの岩盤補強法等についても検討・開発していく必要があるものとする。
- (3) 土被りが浅い地下空洞は、一般的に側圧係数が小さく空洞掘削時の周辺岩盤の変位量は、鉛直方向の初期地圧等が同一条件の場合、側圧係数が小さいほど掘削に伴う空洞天端部の変位量が大きくなり、地下空洞の安定性は側圧係数の大きい岩盤内に建設される場合より相対的に良くないことを示しているものと考えられる。
- (4) 土被りが浅いほど、また側圧係数が小さいほど地震による空洞周辺岩盤の局所安全率の低下割合が大きくなっていくため、土被りの浅い岩盤地下空洞においては掘削時の安定性だけでなく地震時の安定性評価も重要となる。また、土被りが浅い岩盤地下空洞の場合には、地表面傾斜の影響を受けやすく地形・地質的な面を含めた入力地震動等について十分検討する必要がある。また、地震時の安定性評価において重要な岩盤の基本的な特性である不連続面の特性・動力学特性や地震時のゆるみ領域の定義など今後の研究・実験等により解明していかなければならない課題が残されている。

最後に、わが国においては岩盤地下空洞を利用した文化・スポーツ施設は、その端緒についたばかりで

あるが、社会的需要の高まりと精力的な研究等により、近い将来各種文化・スポーツ施設が数多く建設されていくものと考えられる。また、本文が、今後の土被りの浅い岩盤地下空洞の設計・施工を考える上で、少しでもお役に立てれば幸いである。

参考文献

- 1) (社)電力土木技術協会:電力施設地下構造物の設計と施工, pp.305~471, 1986.3.
- 2) コーカス・串木野: NIKKEI ARCHITECTURE, pp.122~125, 1981.1.
- 3) 田中剛: 室蘭地下多目的アリーナ構想, 地質と調査, 第3号, pp.90~93, 1993.
- 4) 近久博志, 木村龍司, 小林薫: 岩盤の中に美術館を築く, NIKKEI ARCHITECTURE, pp.158~161, 1995.1.
- 5) Rajinder Bhasin, Nick Barton and Fredrik Loset: Engineering geological Investigations and the application of rock mass classification approach in the construction of Norway's underground Olympic stadium, ENGINEERING GEOLOGY, pp.93~101, 1993.3.
- 6) J.A. Rygh: SPORTSHALLA AND SWIMMINGPOOLS IN ROCK IN THE OSLO REGION, Subsurf Space, Vol.1, pp.207~216, 1981.
- 7) CITY OF HELSINKI Building Department: ITAKESKUS SWIMMING POOLS UNDERGROUND AQUATIC PARADISE パンフレット
- 8) NORWEGIAN SOIL AND ROCK ENGINEERING ASSOCIATION: NORWEGIAN URBAN TUNNELLING, PUBLICATION No.10, pp.49~54, 1995.
- 9) David Martin: Norwegian underground sports halls double as air raid shelters, Tunnels & Tunnelling, 1983.11
- 10) David Martin: Dual-role sports halls, a major goal for Finland, Tunnels & Tunnelling, 1987.4.
- 11) Jan A. Rygh: Sports Halls and Swimming pools in Rock in the Oslo Region, Adv.Tunnel.Technol. & Subsurf. Use.vol.2, NO.4, pp.255-268, 1982.
- 12) Jorma Autio: Operational experiences of large rock caverns used for various purposes in Finland, Cities and Subsurface Use, pp.107~114, 1987.10.
- 13) P.Holopainen and J.Oksanen: THE USE OF AN UNDERGROUND BOMB SHELTER AS ICE-HOCKEY RINKS, Subsurf Space, Vol.1, pp.137~140, 1981.
- 14) (社)日本トンネル技術協会: '82 ユーロトンネル技術-ITA総会と現地調査-, pp.67~70, 昭和57年11月
- 15) M.Vuorela and K.Tervila, PEACETIME USE OF SUBSURFACE AIR-RAID SHELTERS IN FINLAND, Subsurf Space, Vol.1, pp.237~242, 1981.
- 16) M.Dorum: ENERGY ECONOMY IN SPORTS HALLS AND SWIMMING POOLS IN ROCK, Subsurf Space, Vol.2, pp.601~607, 1981.
- 17) 斎藤敏明, 石田毅 他: 実測結果に基づくわが国の地下岩盤内の初期地圧状態の検討, 土木学会論文集, 第394号, /Ⅲ-9, pp.71~78, 1988.6.
- 18) 奥園誠之, 鈴木幾雄, 森山守: トンネル設計における数値解析と施工データの利用, 日本道路公団試験所報告, pp.39~55, 昭和61年12月
- 19) 土屋敬: トンネル設計のための支保と地山物性値に関する研究, 土木学会論文集, 第364号 /Ⅲ-4, pp.31~40, 1985.12.
- 20) N.Barton, L.Tunbridge, F.Loset, H.Westerdahl: NORWEGIAN OLYMPIC ICE HOCKEY CAVERN OF 60M SPAN
- 21) 近久博志, 小林薫, 松元和伸, 中原博隆, 筒井雅行: 土被りの浅い岩盤地下空洞の計画と設計, 地下空間シンポジウム論文報告集, Vol.1, pp.7~16, 1995.12.
- 22) 高橋直樹, 水谷善行, 柳原純夫, 色川邦彦: 山岳地における地震動に関する考察, 奥村組技術研究年報, No.13, pp.117~122, 1987.
- 23) 小林薫, 近久博志, 松元和伸, 小川正二: 被りの浅い岩盤地下空洞の地震時安定性に及ぼす地表面傾斜の影響, 第14回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, pp.153~156, 1996.11.