

# 土工事における全天候型施工施設の開発

—— 移動式や防音型など、労働環境改善や周辺環境保全に応じたシステムの構築 ——

日笠山 徹 巳 坪 井 政 義  
西 林 清 茂 平 野 滋

## 概 要

土木工事における全天候型施工技術は、定置型の建築に比べ、工事範囲は広く、現場が点にあるいは、移動することからエリア全体を全天候化することが難しく、実用化が進んでいなかった。土木では、切り盛りや掘削など直接土砂を扱う工種が多く、雨などの天候の影響を受けやすく、また、現場から発生する騒音やほこり、汚濁水などの理由により周辺から規制を受け、生産性を損なうケースが増加している。著者らは、土工事における稼働率の向上や労働環境の改善を目的にするとともに、防音や防塵あるいは景観問題などの周辺環境の保全を配慮した全天候型施工技術の開発を行ってきた。そして、実工事を対象とした数多くのF. S.を行い、2現場で実務適用を行った。そのひとつは道路建設工事での移動式施設であり、従来工法に対し稼働率の大幅向上に寄与し、ひとつは大断面立て坑掘削工事での防音型施設であり、防音を主目的とした全天候型施工技術を可能にした。

### 1. はじめに

建設工事における全天候型施工技術は、稼働率の向上や労働環境の改善を目的に建築では各種工法が開発、実用化されているが、土木工事の場合工事範囲が広く、現場が点にあるいは移動することからエリア全体を全天候化することが難しく実用化が進んでいなかった。しかしながら、土木工事は、切土、盛土、掘削工など、直接土砂を扱う工種が多く、建築工事より雨雪などの天候の影響を受けやすいことから全天候型施工技術の必要性は高い。また、最近では建設現場から発生する騒音やほこり、汚濁水などの理由により周辺から規制を受け、生産性を損なうケースが増加している。したがって、著者らは、単に全天候型施設を目指すばかりではなく、防音や防塵あるいは景観問題などの周辺環境の保全まで配慮した全天候型施工技術の開発を行った。そして、盛土、切土あるいは掘削作業などの土工事を対象としたF. S.を行うとともに、他社に先駆け、2現場において実際の工事への適用を達成した。

本報告は、土工事を対象とした数例のF. S.結果を紹介し、実務適用した2事例、道路土工における開閉 TENT を有する移動式施設と大断面立て坑掘削工事における防音型施設についての適用理由、設計条件、各種仕様などを述べるとともに、実務適用で得られた全天候型施工による効果を稼働率、労働環境、周辺環境保全などの面から分析、評価したものを示す。

### 2. 土工を対象とした全天候型施工

#### 2.1 全天候型施工の特色

土工事における全天候型施工の特色をFig. 1に示す。

#### 2.2 F. S.事例

郊外の平地における盛土を想定したシステム、斜面土工を対象に索道と屋根材を組合わせたシステムなどの大規模土工を対象にしたものから、吊り屋根やジャバラテント、エアチューブを用いた簡易テントに至るまで様々な用途や規模に応じた実工事を対象にF. S.を実施した。その際、屋根の開閉や施設の移動などは、既存の要素技術を最大限に使い、利用者にとって利便性の高いものを考慮した。その結果の一部をイメージスケッチでFig. 2に示す。

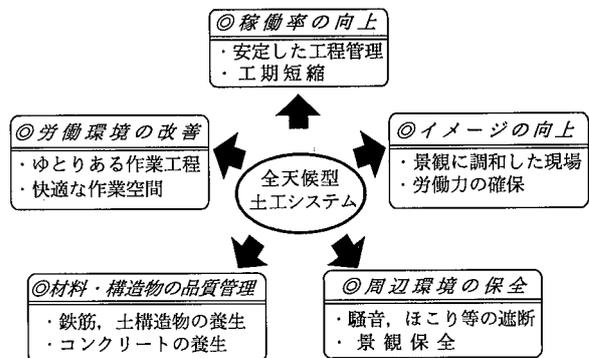
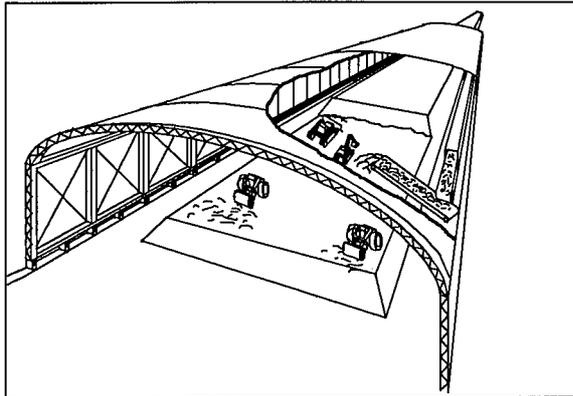


Fig. 1 土工事における全天候型施工法の特徴  
Characteristics of All Weather Construction Methods

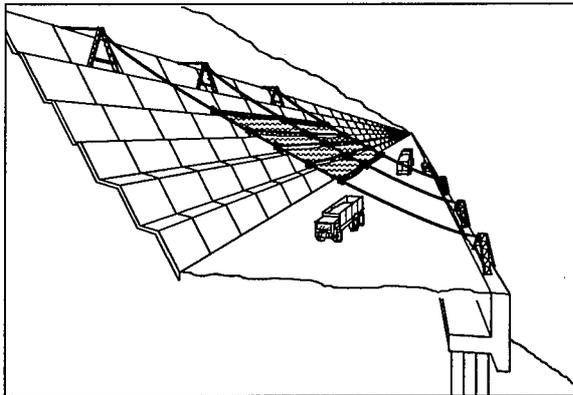
### 3. 全天候型施工施設の実務適用

#### 3.1 概要

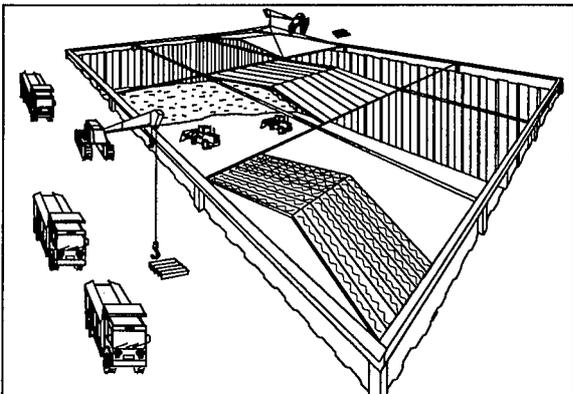
数多くのF.S.を通じ得られたノウハウを基に、実際の土工主体の現場に全天候型施工施設を適用し、全天候型施工の効果確認を行った。そのひとつが開閉 TENT を有する移動式施設であり、ひとつが固定式の防音型施設である。



(a) 連続盛土システム



(b) 斜面土工用システム



(c) 立坑用簡易システム

Fig. 2 各種システムのイメージ  
Image of Some All Weather Works Systems

#### 3.2 全天候型移動式施工施設

3.2.1 現場概要 移動式施工施設を適用した現場(JH坪佐工事)は、東海北陸自動車道建設工事の内、郡上八幡ICから郡上白鳥IC間のFig. 3の断面をもつ延長150mの区間である。この区間は、深礎杭上にL型擁壁を構築する擁壁工事と、切土およびのり面保護を行う斜面土工に分けられる。全体工程の中で工期短縮の効果が大きく、作業が集約的な擁壁工事を全天候型施工の対象にした。その工事概要をTable 1に示す。

#### 3.2.2 全天候型施工の採用理由

- 1) 稼働率の向上：建設業における雇用近代化のモデル事業として、4週6休の完全実施を目標にした。そのため、雨天による作業中止日をできるだけなくし、稼働率の向上が求められた。
- 2) 工程管理の安定：隣工区との作業の取合い上、所定の工期内に竣工しなければならない。
- 3) 雨天時の労働環境改善：労働環境改善から、雨に濡れない作業環境や濡れた足場での作業回避などが求められた。

Table 1 JH坪佐工事の概要  
Abstract of Tubosa Works

工種	概要	実施工期
深礎杭工	φ3.5m×L15m@7m×19本	H7.2~8(6.5ヵ月)
L型擁壁工	高さ10m×延長150m	H7.8~12(4.5ヵ月)
※全天候型施設の適用期間		H7.5~12(8.0ヵ月)

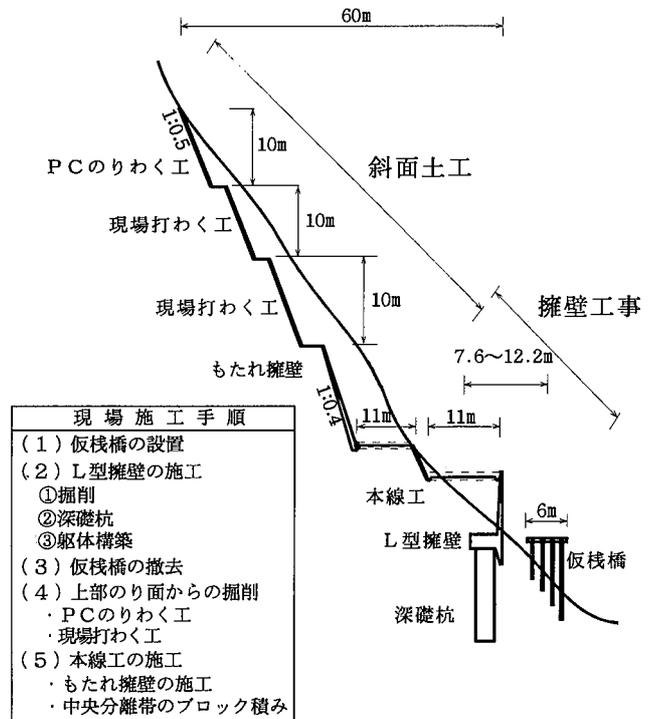


Fig. 3 全天候型施工の対象工事断面 (JH坪佐工事)  
Cross Section of Tubosa Works

### 3.2.3 移動式施工施設

(1) 施設概要 2.2節で示した様々なタイプの全天候型施設の中で、当工事の特徴、移動性、急斜面上での作業などを考慮し、次のような施設とした。

深礎工は3組で行われたが、その内2組に対応するよう全天候部が125m<sup>2</sup>(縦12.5m×横10m)の施設を2基(計250m<sup>2</sup>)製作し、L型擁壁工には2基を組合わせ(縦25m×横10m)、利用した。延長150mにわたり展開する工事に対応するために、工事前仮設棧橋(片勾配5.24%)を自走式とし、屋根は強風時の安全や晴天時の作業環境を考慮し、開閉 TENT を採用した。屋根の高さは、施設下での作業機械のクリアランスから決定した。Fig. 4に施設の概要図を示す。

(2) 設計条件 設計条件は、過去5年間の気象データに基づき、設計風速は屋根開時(使用時)で20m/s、閉時(不使用時)で40m/sを、設計積雪量は開時で10cm、閉時で30cmをそれぞれ設定した。

(3) 設備 開閉 TENT はジャバラ式とし、開閉作業に約3分要す。走行方式は急勾配の仮設棧橋での自走のため電気モーターによる4輪駆動とし、速度は操作性から約5m/minとした。電源は、施設に搭載した発電機で、照明灯や作業用電源としても利用した。なお、横からの雨に対処するように昇降式の吹込み防止シートを設けた。

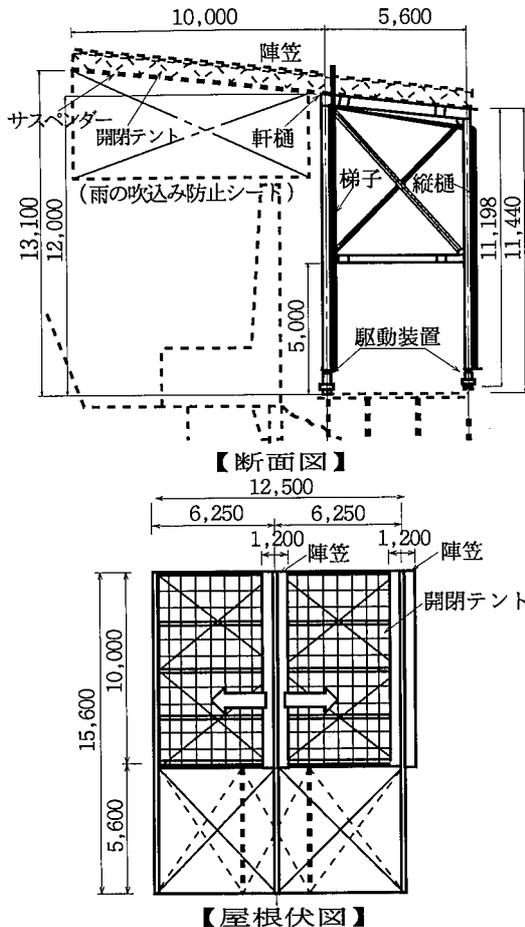


Fig. 4 移動式施工施設の構造概要  
Structural Drawing Movable Facility

### 3.3 防音型施工施設

3.3.1 現場概要 防音型施工施設を適用した現場は、葉山浄化センター建設工事(神奈川県葉山町)である。この浄化センターは、下水処理場が及ぼす周辺環境への影響を極力少なくするため、Fig. 5のように地山にトンネルを掘削し、この中に処理施設の大部分を収納したトンネル方式(クリーンカプセル)処理場である。この浄化センター建設の内、土木工事は大断面の立て坑掘削工(縦40m×横100m×深18m)とトンネル工(幅20m×高22m×長61m×2本)である。その工事概要と概略工程をTable 2に示す。

#### 3.3.2 防音型施工施設の採用理由

1) 建設騒音の防音：トンネル方式下水処理場は、稼働時には周辺環境への影響が少ないが、建設時には工事機械、車輛による建設騒音が近接住宅への影響が及ぶことが懸念された。トンネル工は工期上昼夜間工事が不可欠であり、そのため工事区域近傍の住宅地での夜間騒音を45dB(A)以下とする必要が生じた。

2) 工期の短縮：大規模な立て坑掘削工事において、地山が泥岩のため降雨時あるいは降雨後のトラフィカビリティの確保が困難となるため気象条件に左右されない作業環境が必要となった。

3) 景観上の問題：工事区域は自動車専用道路沿いにあり、この道路を介し正面高台に住宅地が近接しているため、昼夜の景観のみならず夜間の工事用照明の漏れなどを考慮する必要があった。

Table 2 葉山浄化センター建設工事の概要  
Abstract of Hayama Works

工種	主要数量	H5	H6	H7	H8
準備工	水路工	←			
法面工	法枠3,000m <sup>2</sup>		←		
立て坑工	縦40m×横100m×深17m, 親杭182本			←	
トンネル工	幅20m×高22m×長61m×2本				←

※防音型施工施設の組立(H7.4)

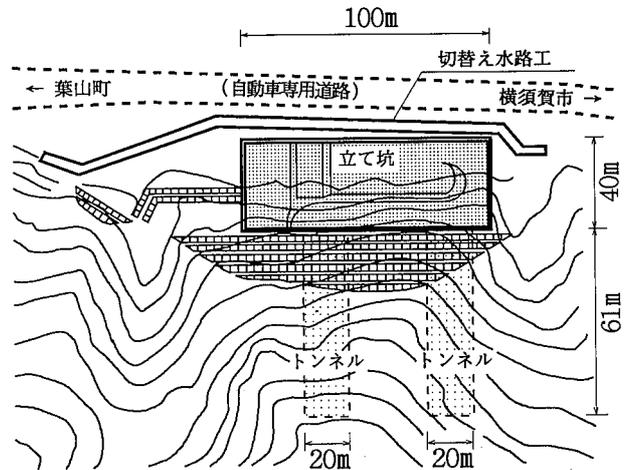


Fig. 5 葉山浄化センター建設工事の平面図  
Plan of Hayama Works

3.3.3 防音型施工施設

(1) 施設概要 防音型施設は、騒音発生源としての工事区域に対して規制対象住宅地が高所にあるため、全断面(縦40m×横100m)被覆を必要とし、工事の施工性、経済性を考慮して固定型ドーム形式とした。構造は、鉄骨トラス組の外面にテント材を外膜として張り、内部には遮音材として軟質遮音シートを、また、両膜の間に防音効果を高めるためグラスウール(t=100mm)を設置した。Fig. 6に構造断面図を示す。

(2) 設計条件 仮設構造物とし、設計風速40m/s、積雪荷重40kgf/m<sup>2</sup>を設計条件とした。

(3) 設備 施設内換気のために吸気用および排気用コントラファンを設置した。(Q=1,000m<sup>3</sup>/min)また、昼間の補助照明として屋根に明かり窓を設けたが、効果が少ないためにナトリウム灯を併用した。なお、コントラファンの低周波振動問題は、吸音パネルの設置や風管を山側に配置するなどして対処した。

4. 実務適用における全天候型施工の効果

4.1 稼働率の向上および工期短縮効果

4.1.1 JH坪佐工事(移動式施設) JH坪佐工事の全天候型施工の対象工事における月間稼働率をTable 3に示す。同表には、全天候型を採用した実績と採用しなかった場合を推定した値を比較して示す。降雨による作業中止の判定は、現場における過去の実績より評価し、日降雨量5mmを目安にした。

Table 3より、使用期間中、全天候型施工でなかったら作業中止であろう日が43日もあり、工事の遅れとなったり、工程変更あるいはこれらが不可能であれば休日出勤や雨の中での作業が余儀なくされた。稼働率は、不採用の場合に対し改善率で3割も向上しており、梅雨時は平年に比べ降雨日および量とも多かったために、稼働率の向上が顕著であった。とくに工期が梅雨期に当たった深礎工では土砂を扱う工種だけに全天候型施工の効果は大きかった。

4.1.2 葉山浄化センター建設工事(防音型施設)

葉山浄化センター建設工事における平成7年5月から平成8年8月までの稼働率を2ヵ月ごとにまとめ、Table 4に示す。

この表より、この現場でも18ヵ月に46日が作業中止

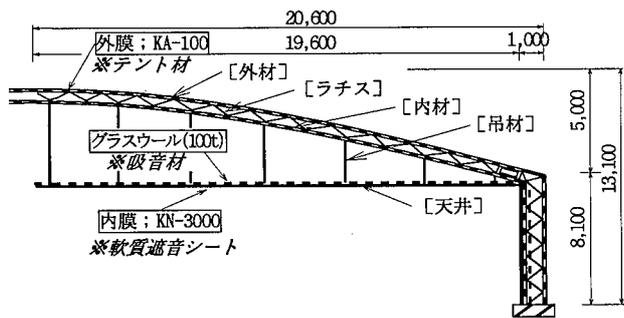


Fig. 6 防音型施設の標準断面  
Typical Cross Section of Soundproof Facility

であったと思われ、地山が雨水により泥寧化しやすい泥岩であることを考慮すると、全天候型施工を採用しなかった場合、降雨後のトラフィカビリティの悪化が予想され、稼働率は推定値をさらに下回っていたと考えられる。

4.2 労働環境改善効果

移動式施工施設を適用した坪佐工事において、作業および労働環境の改善効果を確認するために施設を利用した作業員にアンケート調査を行った。調査項目は、利用目的や作業空間あるいは開閉テントや走行装置など各設備の操作性に関するもの、全天候型施工に関する感想であった。

回答結果をみると、作業空間や操作性の面で若干の改善要望事項が指摘されたが、全天候型施工に関する感想では、降雨に左右されることなく作業ができ、当初の施工計画どおり4週6休の労働条件のもとと仕事を完遂できたことがよかったとの声が多かった。(とくに梅雨時の作業となった深礎工事)また、利用目的では、日差しの強い夏場に日除けとして利用したなどの積極的な利用も伺えた。

防音型施設を適用した葉山浄化センター建設工事においても、トンネル工は一種の全天候型施工ではあるが、立坑掘削工事やトンネルズリ運搬を行う作業員にとっても降雨を気にすることなく労務が保証されており、雨天時も雨に濡れず、雨具を着用することなく作業できる環境については、好評である。

2現場ではあるが、実工事への全天候型施工の適用を通じ、作業員の多数が全天候型施設があれば積極的に使用する意識があり、より利便性に富むシステムを望んでいることがわかった。また、雨雪に濡れない作業環境づくりなどの作業環境改善や雨雪に左右されない労務環境の面からも、十分な効果が確認された。

Table 3 JH坪佐工事における月間稼働率  
Monthly Working Rate in Tubosa Works

月 (H7)	日数 A	全天候を採用した実績値			不採用の場合(推定値)			改善率 H=D/G
		公休日 B	作業日 C=A-B	稼働率 D=C/A	降雨日 E	作業日 F=C-E	稼働率 G=F/A	
5	31	12	19	0.61	6	13	0.42	1.46
6	30	6	24	0.80	7	17	0.57	1.41
7	31	7	24	0.77	11	13	0.42	1.85
8	31	12	19	0.61	3	16	0.52	1.19
9	30	6	24	0.80	4	20	0.67	1.20
10	31	7	24	0.77	4	20	0.65	1.20
11	30	6	24	0.80	7	17	0.57	1.41
12	31	7	24	0.77	1	23	0.74	1.04
計	245	63	182	0.74	43	139	0.57	1.31

Table 4 葉山浄化センター建設工事における月間稼働率  
Monthly Working Rate in Hayama Works

月 (H7~8)	日数 A	全天候を採用した実績値			不採用の場合(推定値)			改善率 H=D/G
		公休日 B	作業日 C=A-B	稼働率 D=C/A	降雨日 E	作業日 F=C-E	稼働率 G=F/A	
5. 6	61	16	45	0.74	9	36	0.59	1.25
7. 8	62	19	43	0.69	4	39	0.63	1.10
9. 10	61	13	48	0.79	2	46	0.75	1.04
11. 12	61	15	46	0.75	3	43	0.70	1.07
1. 2	60	18	42	0.70	4	38	0.63	1.11
3. 4	61	15	46	0.75	12	34	0.56	1.35
5. 6	61	18	43	0.70	6	37	0.61	1.16
7. 8	62	20	42	0.68	6	36	0.58	1.17
計	489	134	355	0.73	46	309	0.63	1.15

### 4.3 周辺環境への配慮効果

葉山浄化センター建設工事では、周辺環境への影響とくに建設騒音を考慮し、全天候型(工事エリアを屋根で覆う)の防音施設の採用となった。その防音効果を実証するために工事期間中、定期的に近接住宅地における夜間の騒音測定を実施している。その一例として、防音型施設の中で最も建設騒音が高い作業、坑口での掘削工時の測定結果をFig.7に示す。この測定結果から住宅地における夜間の建設騒音は40dB(A)程度で、規制値45dB(A)を満たし、隣接する自動車専用道を通る自動車騒音の方が大きいことがわかった。

## 5. 防音型施設の防音効果

### 5.1 概要

防音型施設の開発にあたり、実際のテント材や軟質遮音シートの遮音性能を実験的に測定し、その結果を基に実工事を想定したシミュレーションを行い、3.3.3に示した防音仕様を決定した。この章では、そのシミュレーション結果を示すとともに、防音型施設の完成後実施した防音効果確認試験から得られた知見を示す。

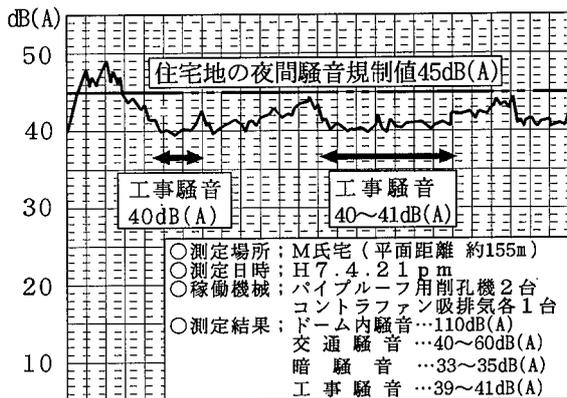


Fig.7 建設騒音の測定結果例  
 Result of Measurement of Construction Noise

### 5.2 建設騒音のシミュレーション

葉山浄化センター建設工事において実際に用いる建設機械の騒音レベルを、昼夜作業となるトンネル上半施工時と昼間のみの作業となる立坑掘削およびトンネル下半施工時に分けて、Table 5に示す。そして、これらを音源に、敷地境界あるいは近接住宅地における騒音レベルのシミュレーション結果を、防音型施設がない場合と防音仕様として二重膜構造(テント材+軟質遮音シート)を採用した場合、二重膜の間に遮音効果を高めるためにグラスウール(t=100mm)を設置した場合の3ケースを比較して、Fig.8に示す。

このシミュレーションの結果、二重膜構造とグラスウールを組合わせたケースが、敷地境界での昼間の騒音レベル規制値85dB(A)を、また、近接住宅地では昼間の騒音レベル規制値55dB(A)、夜間の規制値45dB(A)を満たしたため、この仕様を本工事での防音仕様とした。

### 5.3 防音効果確認試験

防音型施設の完成後実施した防音効果確認試験の内、夜間作業時の近接住宅地での騒音レベルはFig.7のとおりであり、シミュレーション時の音源間距離95mと騒音測定時の音源間距離155mを勘案すると、測定時の騒音レベルはほぼシミュレーションどおりの値である。

Fig.9に防音型施設の一般部(二重膜+グラスウール)と出入り口(軟質遮音シートによる二重扉)における遮音量を

Table 5 建設機械の騒音レベル  
 Noise Level of Construction Plant

時間帯(作業)	建設機械(台)	周波数(HZ)						騒音レベル測定距離
		125	250	500	1000	2000	4000	
昼夜作業 (トンネル上半 作業時)	ロードレッカー(2)	66	65	63	62	61	54	67 (30)
	ダンプトラック(1)	85	80	77	76	72	63	80 (3)
	バックホ(1)	71	66	67	65	63	55	70 (30)
昼間作業 (立坑掘削 トンネル下半)	コンクリートポンプ(2)	68	68	66	70	63	57	72 (5)
	油圧ブレイカー(1)	73	76	72	70	68	66	76 (30)
	ダンプトラック(2)	85	80	77	76	72	63	80 (3)
		-	-	-	-	-	-	-

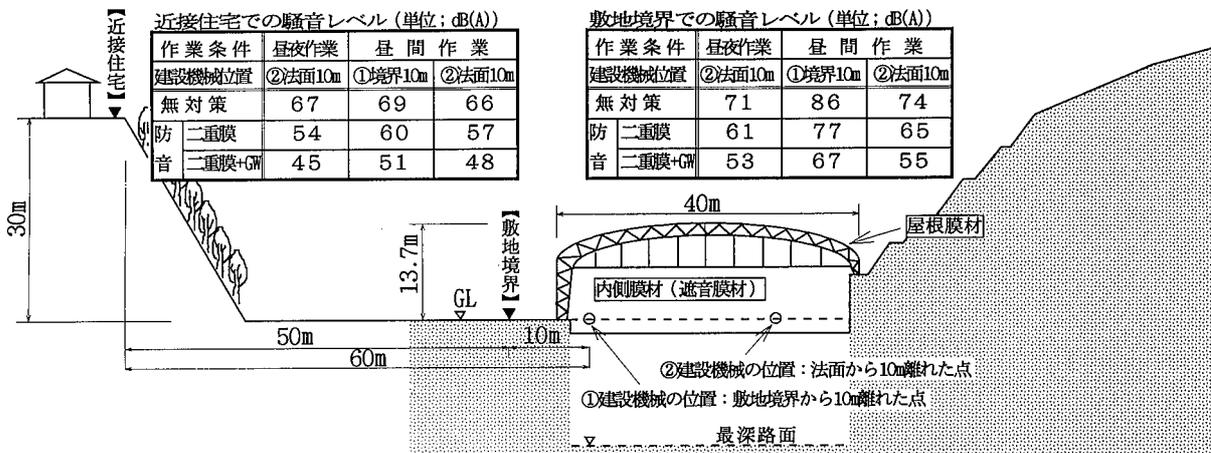


Fig.8 騒音レベルのシミュレーション結果  
 Noise Level by Simulation

周波数別に示す。各部所とも高周波数域ほど遮音効果が高く、出入口ではグラスウールを設置し吸音していないため隙間からの音もれの影響により高周波数域の遮音量が一般部に比べ小さい。また、低周波数域では、一般部と出入口の遮音量に、差がみられない。

防音型施設内の残響時間はFig. 10のようになり、これより掘削土の吸音率を逆算すると、Fig. 11に示すように全周波数域において0.3前後であり、通常のグラウンドなどの土と異なりかなり大きい値を示す。これは、掘削土であるため土粒子間の空隙が大きく、この空隙が音を吸収したものと考えられる。したがって、防音型施設内での建設騒音の反響が懸念されたが、この掘削土の吸音効果により、反響は少なく、耐え難い騒音とはならなかった。

5.4 膜材ドームによる防音効果

建設工事機械の騒音は主にエンジンの排気音が大きく、周波数別では125,250Hzの音圧レベルが大きい。ほぼこの周波数域の遮音性能(膜の透過損失)で騒音レベルの減音量が決定される。したがって、今回の膜材による防音型施設の実務適用を通じ、Table 6に示す防音効果の目安が得られた。

6. まとめ

土工事において全天候型施工を採用するに際しては、その効果やメリットを理解しつつも経済性を考えると二の足を踏むのが現状である。しかしながら、実際の道路工事や立て坑掘削工事に適用し、稼働率や作業環境に関する基本的なデータを収集した結果、梅雨期のみならず年間を通じて稼働率の向上が期待でき、作業員の全天候型施工技術に関する意識の高いこともわかった。防音型施設では、騒音レベルのシミュレーションに基づき、防音仕様を決定すれば、膜構造でも十分防音効果を得られる。また、実構造物レベルでの防音効果確認試験から得られたデータにより、防音を主目的とする全天候型施設の水平展開が期待できる。

最後に、葉山浄化センター建設工事のように、単に労働環境の改善や稼働率の向上を目的とした全天候型施工ではなく、防音あるいは景観保護、雨水流入防止、汚濁水流出防止などの周辺環境の保全を組み合わせることにより、土工事における全天候型施工技術は、今後、広く展開すると思われる。

謝辞

土工事における全天候型施工施設の開発に当たりまして、その実務適用に協力していただいた日本道路公団名古屋建設局美濃工事事務所および葉山町環境経済部、日本下水道事業団西神奈川工事事務所、また、現場における各種データや情報を提供していただいた名古屋支店坪佐JVおよび横浜支店葉山町JVの方々に謝意を表します。

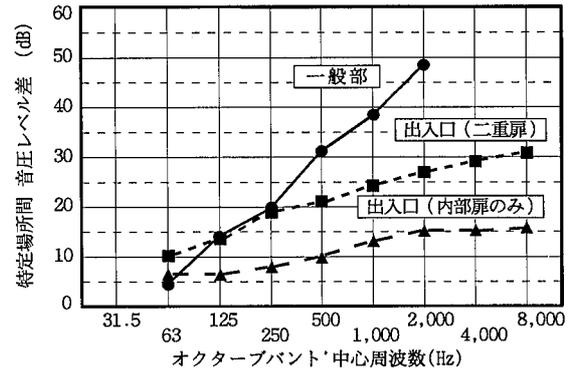


Fig. 9 各部所の遮音量 Sound Pressure Level Difference

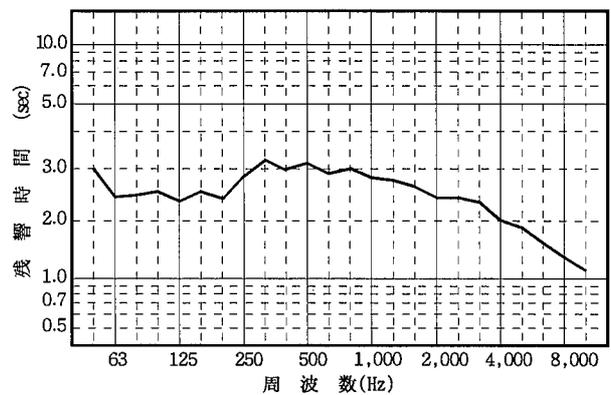


Fig. 10 防音ドーム内の残響時間 Reverberation Time in the Soundproof Facility

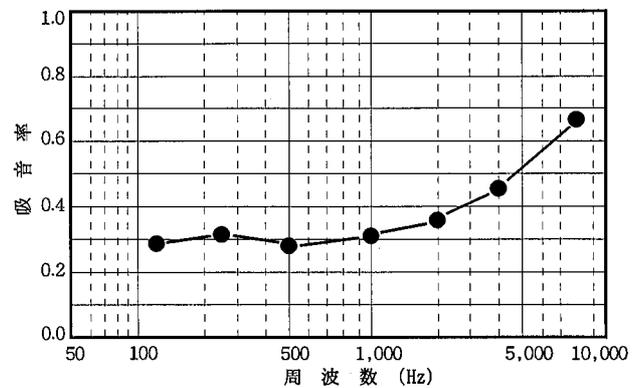


Fig. 11 残響時間から逆算した掘削土の吸音率 Sound Absorption Coefficient of Excavated Soil

Table 6 膜材ドームによる防音効果の目安 Soundproof Effect of Facility with Membrane

	構造概要 (仕様)	減音量 dB(A)
一重膜ドーム	外膜のみ (テント0.6)	5
二重膜ドーム (1)	外膜+空気層1m+内膜 (テント0.6, 遮音膜3kg/m <sup>2</sup> ×t2.0)	13
二重膜ドーム (2)	外膜+空気層1m+グラスウール+内膜 (テント0.6, GWt100, 遮音膜3kg/m <sup>2</sup> ×t2.0)	22