

北鎌倉隧道安全対策検討業務委託

第2回委員会資料

ライナープレート仮設工

【概要版】

平成29年1月30日

一般社団法人日本トンネル技術協会

概要版目次

1. ライナープレート仮設工検討	P. 1
2. 内空断面の検討	P. 1
3. ライナープレート仮設工構造計算	P. 2
4. 裏込め充填材の検討	P. 3
5. 検討結果まとめ	P. 4

1. ライナープレート仮設工検討

1.1 ライナープレート設計の概要

北鎌倉隧道のライナープレート仮設工は、「ライナープレート設計・施工マニュアル H12.6 コルゲート・ライナー技術協会」に準拠し設計を行うものとし、設計の際には一般の道路通行の安全確保が必須であるが、北鎌倉隧道の原状をできる限り保全する視点で検討を行った。

(1) 設計の手順

トンネル用ライナープレート設計は、まず必要なトンネル断面からライナープレートの形状と寸法を決定し、次にそれに作用する適切な荷重を算定してライナープレートの板厚、及び補強リングのピッチ等を定める。トンネル用ライナープレート設計は一般にその横断面方向についてのみ行う。

トンネル用ライナープレート設計手順をフローチャートで示すと次のようになり、これに準じて検討を行うものとする。

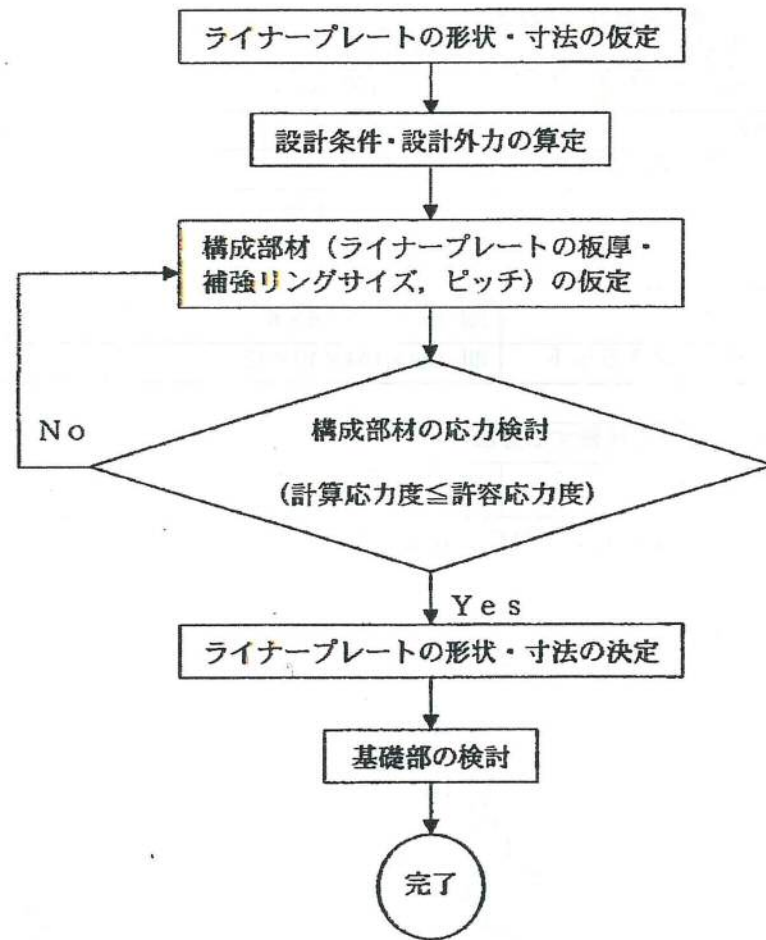


図 1-1 横坑用ライナープレート設計フローチャート

出展：「ライナープレート設計・施工マニュアル H12.6 P.109」

2. ライナープレート仮設工内空断面の検討

2.1 ライナープレート仮設工内空断面の検討

本業務では、北鎌倉隧道が存する尾根及び隧道本体が将来の史跡の指定（拡大）を前提とし、文化財的保全等の検討を行うものであり、ライナープレート仮設工は原型を極力変更しないことが望まれる。しかしながら、道路構造令及び道路トンネル技術基準に準拠したトンネル断面では、現況トンネル断面を侵すことが確認された。

そのため、ライナープレート仮設工は一般の道路通行の安全確保が必須であるが、北鎌倉隧道の原状をできる限り保全する視点で検討を行うこととし、大人 1 人が通行する道路幅員を 0.75m 以上と設定して、原型を極力変更しない案と天井高（有効）1.75m を確保する案の検討を行った。

検討の結果、原型を変更せずに歩行者の通行を確保する断面は次のようになり、この断面形状について構造計算を行う。

表 2-1. 原型を変更しない断面形状

項目	寸法	備考
幅員	1.9m	
天井高	1.8m	
側壁高	0.85m	
アーチ半径	R=0.95m	※高周波曲げ加工による対応が必要
補強リング	H-100*100	

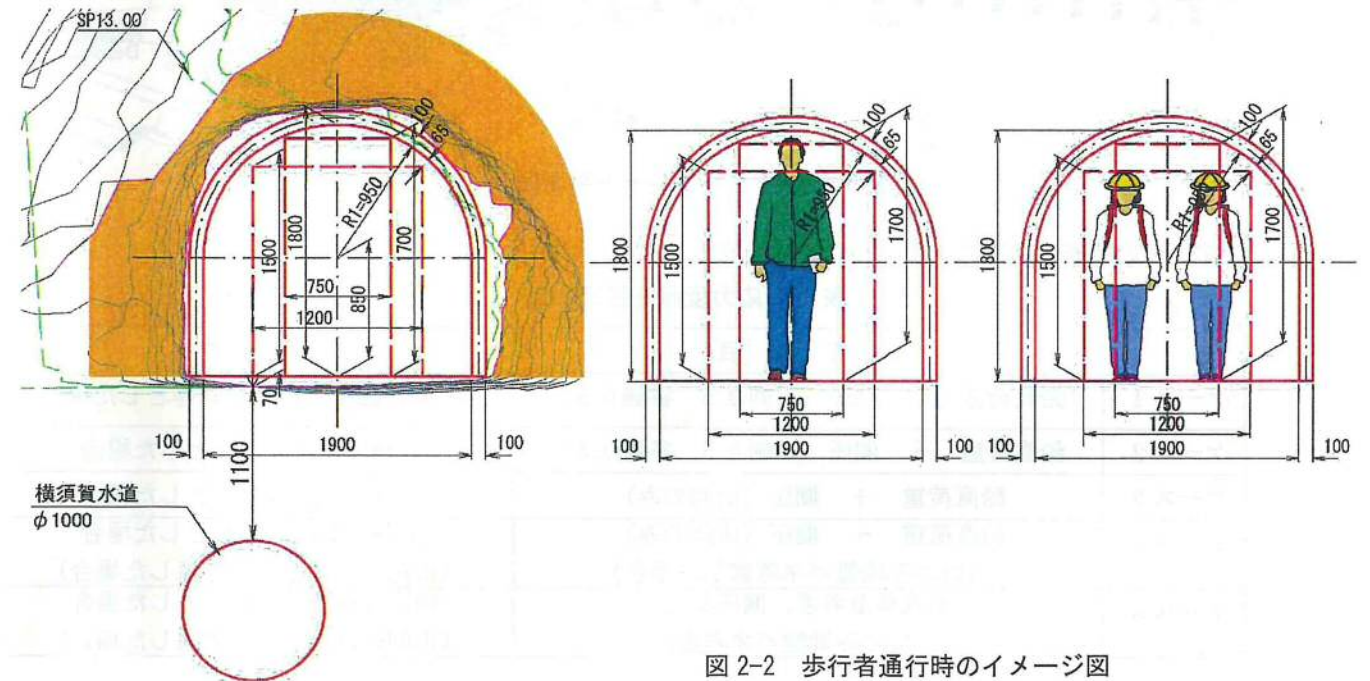


図 2-1 原型を変更しない断面模式図

図 2-2 歩行者通行時のイメージ図

(大人身長 170 cm、子供 150 cm を想定)

3. ライナープレート仮設工構造計算

北鎌倉隧道の仮設工に使用するライナープレートについては、「ライナープレート設計・施工マニュアル H12.6 コルゲート・ライナー技術協会」を参考に、設計及び構造計算を行った。

(1) 計算条件

構造計算は現地形に合わせて行うこととし、トンネル内と鎌倉側坑口部（オーバーハング箇所）及び、大船側坑口部（トンネル曲線部）のそれぞれに対し行った。トンネル内の断面で最も荷重のかかる断面はSP14.5となり、鎌倉側坑口部のオーバーハング箇所は、SP12.5の断面となる。また、大船側坑口部 SP17.2 では道路の線形上、現地形に合せ曲線部を設ける必要がある。

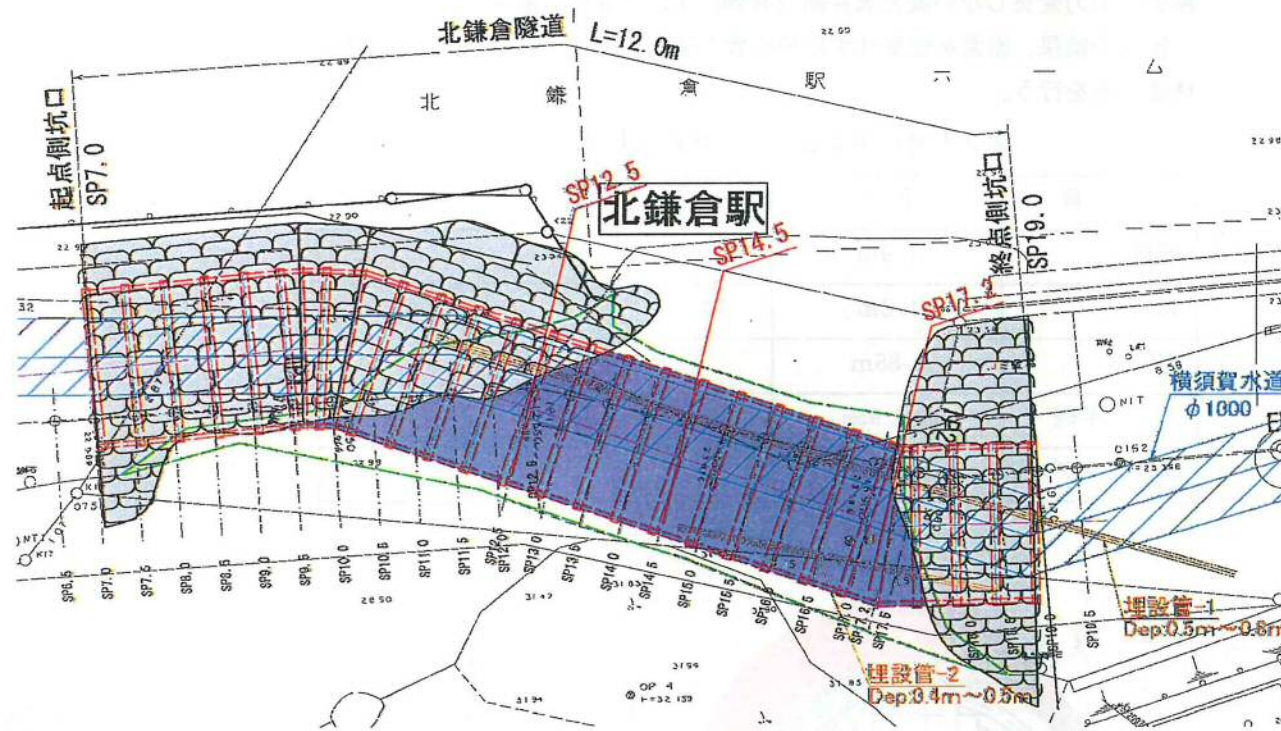


図 3-1. ライナープレート平面図

応力度の照査は、次に示す5つケースを想定して行った。

表 3-1. 応力度照査設定項目

	設定項目	備考
ケース 1	鉛直荷重 + 側圧 (山側 0.5 谷側 0.5)	JR 側の側圧が山側と同等とした場合
ケース 2	鉛直荷重 + 側圧 (山側 0.5 谷側 0.3)	JR 側の側圧を 0.3 とした場合
ケース 3	鉛直荷重 + 側圧 (山側のみ)	JR 側の側圧はなしとした場合
ケース 4	鉛直荷重 + 側圧 (山側のみ) (山側のみ地盤バネ考慮した場合)	(山側のみ地盤バネ考慮した場合)
ケース 5	鉛直荷重考慮、側圧なし (山側のみ地盤バネ考慮)	側圧は両側ともなしとした場合 (山側のみ地盤バネ考慮した場合)

(2) 構造計算結果

応力度照査の結果、アーチ部は H 形鋼による補強が必要となるが、通常の「H-100」では許容値を超えるため、高規格鋼「HH-100」または、同等以上 (SM490A-W 以上) の部材を必要とする。ここでの計算では HH-100 での計算を示す。(H-100 以上の規格の鋼材はアーチ内空を侵すため、H-100 を基本とする。)

各断面 (SP12.5, SP14.5, SP17.2) において、設定項目 5 ケースすべてが許容値内に収まる構造は次のようになる。

○SP12.5 (鎌倉側坑口オーバーハング箇所)

H 形鋼	アーチ部	HH-100×100×6×8
	インバートストラット	HH-100×100×6×8
H 形鋼 設置間隔	0.5m	
補強材との組合せ	H 鋼のウェブに接続する方法	
ライナープレート	板厚 2.7mm	インバートストラット必要

○SP14.5 (トンネル内、土被り高最大 7.5m 箇所)

H 形鋼	アーチ部	HH-100×100×6×8
	インバートストラット	HH-100×100×6×8
H 形鋼 設置間隔	0.5m	
補強材との組合せ	H 鋼のウェブに接続する方法	
ライナープレート	板厚 2.7mm	インバートストラット必要

○SP17.2 (大船側坑口部 曲線部)

H 形鋼	アーチ部	HH-100×100×6×8
	インバートストラット	HH-108×104×10×12
H 形鋼 設置間隔	1.0m	
補強材との組合せ	H 鋼のウェブに接続する方法	
ライナープレート	板厚 2.7mm	インバートストラット必要

※曲線部の H 鋼設置間隔は、曲線を設ける関係上最低 1.0m となる。

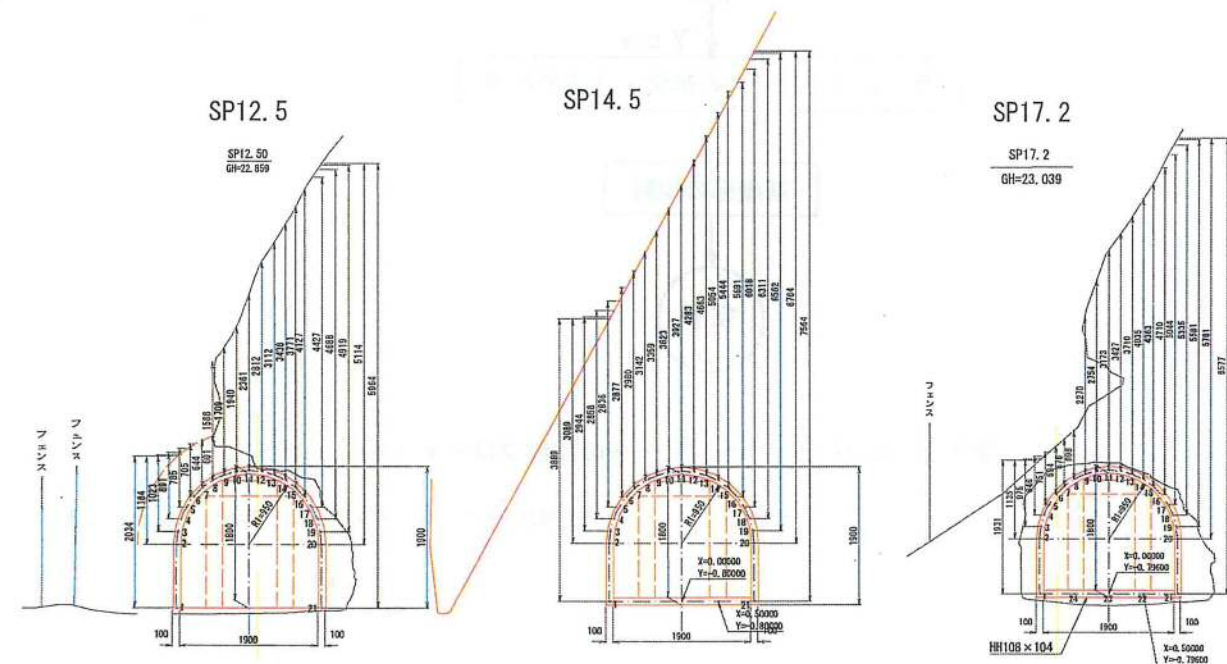


図 3-2. 計算断面の形状

(3) 基礎部の構造

北鎌倉隧道の今回の基礎部構造計算検討では、コンクリート基礎を設けない場合での固定ボルトの検討を行い、許容値内に収まる結果となった。そのため、ベースチャンネルを縦断方向に設置しその上にライナープレートを設置してボルトで固定する方法を基本とし、コンクリート基礎は設けない。

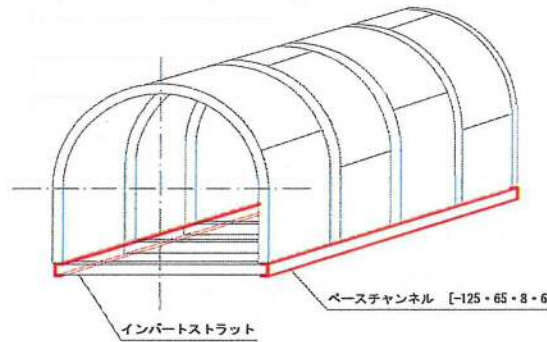


図 3-3. ベースチャンネル設置模式図

基礎部ベースチャンネルには、構造計算よりインバートストラットが必要となるため、設置にあたっては路盤を 20 cm 程度掘削して設置する必要がある。また、構造計算より設置するインバートストラットは、一般部（トンネル内部及び明り部の直線区間）で「HH-100・100・8・6」となり、曲線部では「HH-108・104・10・12」を使用する。次に、それぞれの設置方法を示す。

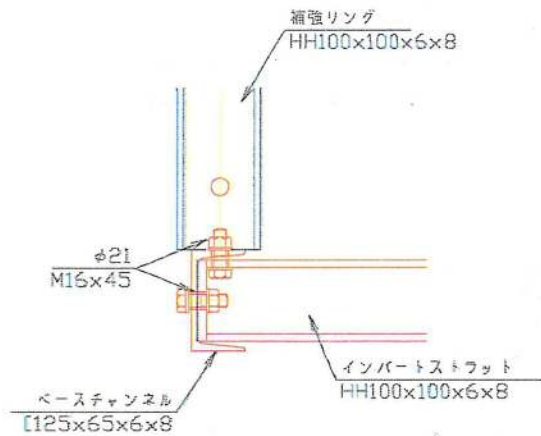


図 3-4. 一般部のインバートストラット固定方法

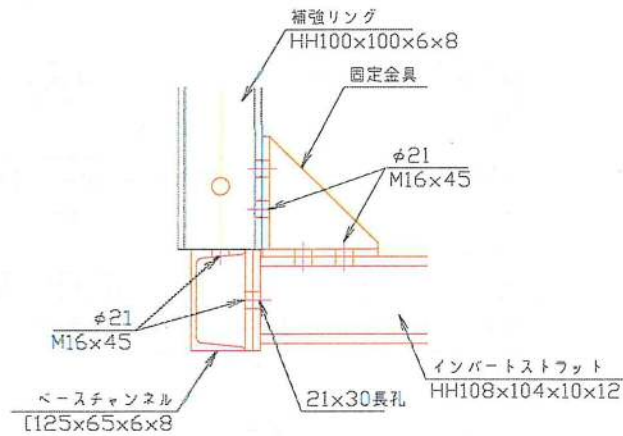


図 3-5. 曲線部のインバートストラット固定方法

4. 裏込め充填材の検討

北鎌倉隧道のライナープレート仮設工を設置した際に、ライナープレートと背面地山との空隙は、裏込め充填材により埋める計画としている。道路トンネルでの変状対策として用いられる裏込め充填材は、セメント系のものと発泡ウレタン系の検討となるが、北鎌倉隧道の本対策時にはライナープレートと裏込め材は撤去するため、史跡保護の観点からセメント系材料は撤去時にトンネル内面地山を傷つける恐れがある。

そのため、発泡ウレタン材料を基本とした検討を行った。

(1) 地山表面の措置

発泡ウレタンの注入時の事前措置として、史跡保護の観点から地山表面を保護する目的で、次のような措置をとる。

- ・トンネル内部に点在する丸穴や地層に沿った凹みを紙の詰め物や粘土などにより埋める。
- ・地山表面に和紙を貼り付ける。
- ・和紙の貼り付けは、天然由来の糊を使用する。

(2) 発泡ウレタンの強度

発泡ウレタンの強度については、地山とライナープレート背面の空隙を充填することによりライナープレート及び周辺地山の安定を図るもので、地盤反力を伝達できる強度がなくてはならない。

先の構造計算では、地盤バネを見込まないケースの「ケース 3：鉛直荷重+側圧（山側のみ kh=0.5）」でのみ許容値を超える結果となった。そのため、この最も厳しい条件で鉛直荷重がそのまま作用した場合に、地盤反力を伝達できる発泡ウレタンの圧縮強度について検討をおこなった。

検討は、SP14.5 付近で最も土被りが高い位置を想定し行った。検討条件は次のようになる。

表-4.1 検討条件

トンネル幅	2.1m
土被り	6.0m
延長	1.0m
砂岩 単位体積重量	18.2kN/m ³

表-4.2 計算結果

作用する荷重	23.9 t
必要圧縮強度	0.17Mpa

計算の結果、SP14.5 付近では 23.9 t の荷重がかかることとなり、0.17Mpa 以上の圧縮強度が必要となる。

下表 4-3 に、発泡ウレタンの各倍率の圧縮強度を示す。圧縮強度は、施工時の湿度や環境等によって発現する強度に誤差が生じるが、おおよそ以下のとおりである。

表-4.3 発泡倍率と圧縮強度

発泡倍率	10 倍発泡	20 倍発泡	30 倍発泡	40 倍発泡
圧縮強度	0.9~1.1 Mpa	0.6~0.9 Mpa	0.19~0.4 Mpa	0.14~0.3 Mpa

表-4.3 より、40 倍発泡では 0.17Mpa 以下になる場合があるため、発泡倍率 30 倍以下の材料の適用が望ましい。

(3) 発泡ウレタンバネを用いた構造計算

ライナープレート仮設工の構造計算について、ライナープレート背面の地山との空洞部分に裏込め充填材として発泡ウレタンを充填する計画をしているが、各発泡倍率の変形係数を用いて、地盤バネを発泡ウレタンに置き換えて構造計算を行った。

また、構造計算は現地地形よりも厳しい条件となる土盛り 6.0mがアーチ全体にかかる条件で行い、応力度の照査は、次に示す5つケースのうち地盤バネを考慮するケース4とケース5について構造計算を行った。

表-4.4 応力度照査設定項目

設定項目	備考
ケース1 鉛直荷重 + 側圧 (山側0.5 谷側0.5)	JR側の側圧が山側と同等とした場合
ケース2 鉛直荷重 + 側圧 (山側0.5 谷側0.3)	JR側の側圧を0.3とした場合
ケース3 鉛直荷重 + 側圧 (山側のみ)	JR側の側圧はなしとした場合
ケース4 鉛直荷重 + 側圧 (山側のみ) (山側のみ地盤バネ考慮した場合)	JR側の側圧はなしとした場合 (山側のみ地盤バネ考慮した場合)
ケース5 鉛直荷重考慮、側圧なし (山側のみ地盤バネ考慮)	側圧は両側ともなしとした場合 (山側のみ地盤バネ考慮した場合)

また、発泡ウレタンの変形係数は、施工時の湿度や環境等によって誤差が生じるが、おおよそ次のようになる。

表-4.5 発泡ウレタン各倍率の変形係数

発泡倍率	変形係数
10倍	E=30,000~25,000 kN/m ²
20倍	E=25,000~20,000 kN/m ²
30倍	E=12,000~8,000 kN/m ²
40倍	E=10,000~5,000 kN/m ²

応力度照査の結果、ケース4、ケース5のウレタンバネを考慮した構造計算において、すべての発泡倍率が許容値内に収まる構造は、次のようになる。

H形鋼	アーチ部	HH-100×100×6×8
	インバートストラット	設置しなくても許容値内に収まる
H形鋼 設置間隔	0.5m (1.0mでも許容値内に収まる)	
補強材との組合せ	H鋼のウェブに接続する方法	
ライナープレート	板厚 2.7mm	

また、発泡ウレタンの変形係数は、20倍から30倍で大きく差がでており、地盤反力を伝達するまでに発泡ウレタンが押しつぶされることを考慮すると、10倍~20倍発泡のものに優位性があるといえる。(20倍: 26,000kN/m², 30倍: 8,820kN/m² ※現地山の変形係数はH25年の調査結果より46,000kN/m²)

そのため、ライナープレート背面の充填材としては、圧縮強度、変形係数及び経済性の面から20倍発泡が望ましいと考える。

5. ライナープレート仮設工検討結果まとめ

北鎌倉隧道ライナープレート仮設工の設置に関わる各種検討結果をまとめると次のようになる。

○内空断面形状

項目	寸法	備考
幅員	1.9m	
天井高	1.8m	
側壁高	0.85m	
アーチ半径	R=0.95m	※高周波曲げ加工による対応が必要

○一般部 (トンネル内及び鎌倉側坑口部)

H形鋼	アーチ部	HH-100×100×6×8
	インバートストラット	HH-100×100×6×8
H形鋼 設置間隔	0.5m	
補強材との組合せ	H鋼のウェブに接続する方法	
ライナープレート	板厚 2.7mm	
基礎部	[-125×65×6×8 (インバートストラットを直接固定)	

○曲線部 (大船側坑口の曲線部)

H形鋼	アーチ部	HH-100×100×6×8
	インバートストラット	HH-108×104×10×12
H形鋼 設置間隔	1.0m	
補強材との組合せ	H鋼のウェブに接続する方法	
ライナープレート	板厚 2.7mm	
基礎部	[-125×65×6×8 (インバートストラットは固定金具を用いて固定)	

○裏込め充填材 (共通)

背面地山表面の事前措置	・トンネル内の丸穴や地層に凹みを紙や粘土などにより埋める ・地山表面に和紙を貼り付ける。(天然由来の糊を使用)	
充填材	硬質発泡ウレタン	発泡倍率 20倍

また、トンネルの明り部には土のうを積む計画をしており、設置イメージ次のようになる。

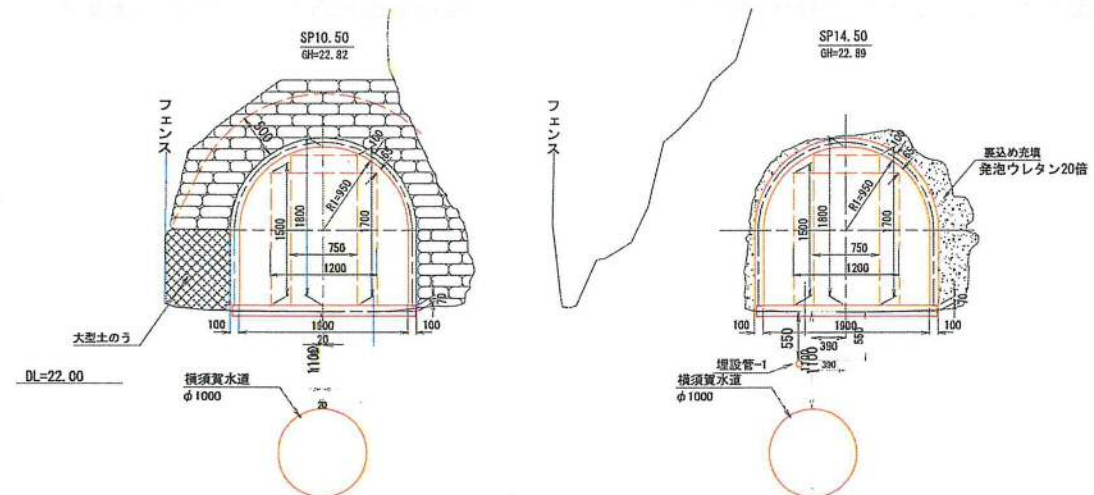


図5-1. ライナープレート仮設工設置イメージ図