

シールド工事のコスト縮減方策に関する研究

石村利明* 真下英人**

1. はじめに

近年、都市部における地下利用が進み、道路・共同溝・河川・下水道等において、シールド工法によりトンネルを建設するケースが増えている。シールド工法は、山岳工法や開削工法に比べ、地表面沈下や周辺構造物への影響、あるいは地下水への影響など、環境保全の面で有利とされているが、工事費が高いことが課題となっている。シールド工法の工事費が高い理由として、同工法が適用される地盤条件、立地条件の厳しさの他に、工区割り、立坑、掘進、発生土、泥水処理、裏込め注入、二次覆工、セグメント、マシン等、種々の要因が指摘されており、今後、シールド工事のコスト縮減を図っていく必要がある。

本報文は、シールド工事のコスト縮減を図るために、シールド工事費に占める割合が30~40%と比較的高いセグメントを対象として、セグメント設計法およびセグメント製作について、コストダウンの可能性のある縮減項目の抽出を行うとともに、縮減方策の検討を行ったものである。

2. コストダウン項目の抽出

今後、コストダウンの可能性のある縮減項目の抽出を行うため、現行のセグメントの設計基準¹⁾および各発注機関別の製作仕様書に規定しているセグメント設計法(断面力の算定法や荷重の設定方法など)、セグメント製作に係る使用材料、型枠、養生、検査項目などについて調査を行った。

また、あわせて発注機関やセグメント製作メーカ

表-1 コストダウンの可能性のある項目の現状と合理化案

項目	現状	合理化案	
セグメント設計法	設計荷重	良質地盤における緩み土圧 (kN/m ²) の下限値の設定 $2.0D_0 \cdot \gamma$ D_0 : セグメント外径 (m) γ : 土の単位体積重量 (kN/m ³)	良質地盤における緩み土圧の計算値換算緩み高さ $h_0 < 2.0D_0$ ↓ 下限値の制限を取り除く ↓ 設計荷重の低減
	地盤反力	自重に対する地盤反力は考慮しない	セグメント組立時に保持 ↓ 自重が作用しない ↓ セグメントが地山内で安定 ↓ 自重に地盤反力を考慮
	セグメント幅および分割数	実績に基づいて標準化	セグメント幅の拡大 ↓ 分割数の低減
	継手構造	金具式ボルト接合	新型継手の開発・導入 ↓ 継手簡略化
	二次覆工	蛇行修正、止水、防食を目的一般的に設置する場合が多い	セグメントの品質向上 ↓ 二次覆工の機能を補完 ↓ 二次覆工の省略
	配筋	経験的に決定 ↓ メーカー、設計によって異なる	配筋の標準化 ↓ 配筋の統一、格差の是正 ↓ 鉄筋量の低減
セグメント製作	高流動コンクリートの適用	数現場で試験的に採用	高流動コンクリートの採用 ↓ テーブルバイブレーター不要、諸設備の軽減 ↓ 型枠の軽量化、労務費の低減
	セグメント補修基準	特に定量的な規定はない 損傷、ひび割れ等は補修	補修基準の明確化 ↓ 補修に係わる労務費の低減
	コンクリートの設計基準強度	コンクリートの設計基準強度 下限を $\sigma_{ck} = 42\text{N/mm}^2$	コンクリートの設計基準強度の低減 ↓ 材料費の低減
	養生	大規模なセグメント: 水中養生	水中養生の省略 ↓ 設備の軽減
	型枠数	製作期間を限定 製作サイクルから型枠数を決定	製作期間の長期化 ↓ 型枠数の低減

等に対するシールド工事の現状およびコストダウンの可能性についてヒアリング調査を行った。

基準書等の調査およびヒアリング結果から得られた今後コストダウンの可能性のある項目について、その現状と合理化案を表-1に示す。

セグメント設計法に係る項目では、良質地盤における鉛直・水平土圧などの作用荷重の評価方法の見直しによる設計荷重の低減、セグメント設計時におけるセグメント自重に対する地盤反力の評価方法、セグメント幅の拡大・分割数の低減、ボルトレスの継手構造の採用、配筋などの合理化・見直し、二次覆工の省略などが考えられる。

セグメント製作に係る項目では、高流動コンク

リートの適用、補修基準の明確化、設計基準強度の低減によるセメント使用材料の減少、検査回数の軽減、養生方法の合理化、型枠転用回数の増加による型枠費の縮減などが考えられる。

以下に抽出したコスト縮減項目の中からコスト縮減効果が高いと考えられる項目および現段階で取り入れられる項目についての検討結果を示す。

3. セグメント設計の合理化

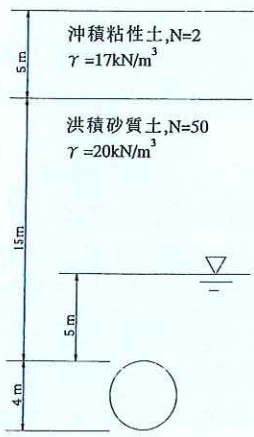
3.1 試設計によるコスト縮減効果の検討

設計法に関連する縮減項目について、どの項目の縮減効果が高いかを確認するため、抽出したコストダウンの可能性のある項目の中から、設計荷重、地盤反力、セグメント幅・分割数、継手構造を選定し、試設計によるコスト縮減効果を確認した。

(1) 試設計条件

コスト試算に用いた試設計条件を図-1 および表-2 に示す。試設計は、従来設計の他、5つの合理化案に対して行った。従来設計では土圧・水圧等の外力による計算結果とセグメント自重に対する計算結果の重ね合わせにより断面力を算定している。この際に土圧・水圧等の外力に対しては地盤反力を考慮しているが、自重に対しては考慮していない。各合理化案の着目は、合理化案Iはセグ

図-1 トンネル・地盤条件

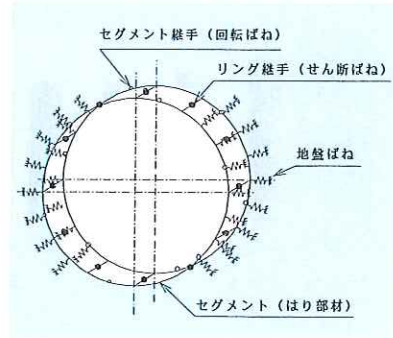


メント幅・分割数を1,200mmの5等分割、合理化案IIは自重に地盤反力を考慮、合理化案IIIは設計荷重の低減、合理化案IVは継手構造にほぞ付きを適用、合理化案Vは合理化案I~IV全てを適用した場合とした。なお、セグメント幅・分割数の見直しについては全ての合理化案に対して適用した。構造計算法は、図-2に示すはりばねモデル(セグメントの継手特性を考慮してセグメントをはり、セグメント継手を回転ばねに、リング継手をせん断ばねでモデル化したセグメントリングに荷重を与える方法)と慣用計算法(セグメント継手による剛性低下を考慮せずに、セグメントリングを曲げ剛性一様なリングと考え、リングに荷重を与える方法)とのいずれかでを行った。なお、通常、セグメントの断面は、曲げモーメントに対して鉄筋量が、軸力に対してセグメント厚が決定されており、本試設計条件が硬質地盤で発生曲げモーメントが小さく、セグメント厚も小さいことから、セグメントの鉄筋量および厚さの大幅な低減には繋がりにくく、構造計算法の違いによるコスト試算結果への影響は小さいものと考えられる。

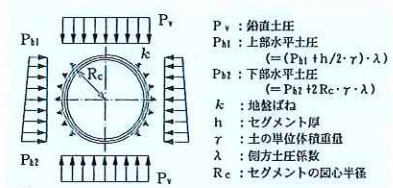
表-2 試設計条件

着目した縮減項目	従来設計	合理化案I	合理化案II	合理化案III	合理化案IV	合理化案V	
	作用荷重	—			○		○
地盤反力	—		○			○	
セグメント幅・分割数	—	○	○	○	○	○	
継手構造	—				○	○	
試設計条件	セグメント構造	RC平板形	RC平板形		ほぞ付き		
	セグメント内径	4,000mm	4,000mm				
	セグメント幅	1,000mm	1,200mm				
	セグメント厚	175mm	175mm	150mm	175mm	150mm	
	分割数	5分割+Kセグメント	5等分割				
	設計荷重(鉛直土圧kN/m ²)	2.0D ₀ ・γ(最小保障荷重)	2.0D ₀ ・γ(最小保障荷重)	0.8D ₀ ・γ(計算値)	2.0D ₀ ・γ(最小保障荷重)	0.8D ₀ ・γ(計算値)	
	側方土圧係数	0.35	0.35				
	地盤ばね	50MN/m ³	50MN/m ³				
	地盤反力	土水圧のみ	土水圧のみ	自重に考慮	土水圧のみ	自重に考慮	
	設計基準強度	42~48N/mm ²	42~48N/mm ²				
構造計算法	慣用計算法	慣用計算法	はりばねモデル				

メント幅・分割数を1,200mmの5等分割、合理化案IIは自重に地盤反力を考慮、合理化案IIIは設計荷重の低減、合理化案IVは継手構造にほぞ付きを適用、合理化案Vは合理化案I~IV全てを適用した場合とした。なお、セグメント幅・分割数の見直しについては全ての



(a) セグメントリング



(b) 荷重分布

図-2 はりばねモデル

の合理化案に対して適用した。構造計算法は、図-2に示すはりばねモデル(セグメントの継手特性を考慮してセグメントをはり、セグメント継手を回転ばねに、リング継手をせん断ばねでモデル化したセグメントリングに荷重を与える方法)と慣用計算法(セグメント継手による剛性低下を考慮せずに、セグメントリングを曲げ剛性一様なリングと考え、リングに荷重を与える方法)とのいずれかでを行った。なお、通常、セグメントの断面は、曲げモーメントに対して鉄筋量が、軸力に対してセグメント厚が決定されており、本試設計条件が硬質地盤で発生曲げモーメントが小さく、セグメント厚も小さいことから、セグメントの鉄筋量および厚さの大幅な低減には繋がりにくく、構造計

算法の違いによるコスト試算結果への影響は小さいものと考えられる。

(2) 試設計結果およびコスト試算結果

試設計結果に基づいて設計したセグメントについて、セグメント製作メーカー3社によるコスト試算結果を図-3に示す。この結

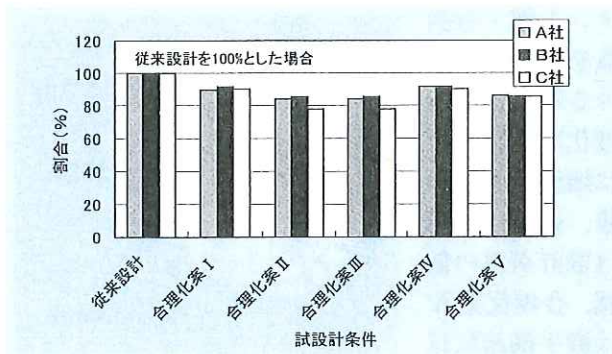


図-3 コスト試算結果

果から、セグメント幅・分割数と設計荷重および地盤反力の取り扱いの組合せによる合理化案 II、III、V が 15～20%程度とコストダウン効果が最も大きいことが分かる。一方、セグメント幅・分割数の変更と継手構造をほぞ付きとした合理化案 IV のコストダウンは概ね 10%で程度であり、セグメント幅および分割数のみを変更した合理化案 I とほぼ同様な値であり、セグメントをボルトレスとした場合の効果は顕著に現れていない。したがって、コストダウンを図るには、設計荷重の低減、自重に対する地盤反力の取扱い方法などセグメント設計法の見直し、セグメント幅・分割数の変更が効果的であると言える。

3.2 自重に対する地盤反力の取扱いの検討

自重に対する地盤反力の取扱いについては、トンネル規模によりセグメント自重が大きく変化し、その効果が異なると考えられるため、以下に示す感度分析により検討した。

(1) 感度分析方法

感度分析は、表-3 に示す 4 種類のセグメント外径に対して、それぞれ土被り、地盤、鉛直土圧、地盤ばねの大きさなどをパラメータとして慣用計算法により実施した。

(2) 感度分析結果

1) 発生曲げモーメントと外径の関係

自重による発生曲げモーメントと外径の関係を図-4 に示す。これより、自重による発生曲げモーメントは外径が 10m 程度を越えると急激に大き

表-3 自重に対する感度分析検討条件

セグメント外径 D_0 (m)	3.35	5.4	10.8	12
土被り H (m)	小：7～12m、大：50m			
地盤	軟弱粘性土 (N=3) 中位砂質土 (N=20) 硬質砂質土 (N>20)			
鉛直土圧	軟弱粘性土：全土被り ($\gamma \cdot H$) 中位砂質土、硬質砂質土：緩み土圧 ($1D_0 \cdot \gamma \sim 1.5D_0 \cdot \gamma$)			
地盤ばね (k) (kN/m^3)	軟弱粘性土 ($k = 2500$) 中位砂質土 ($k = 20000$) 硬質砂質土 ($k = 50000$)			
地下水位	GL -2.0m			

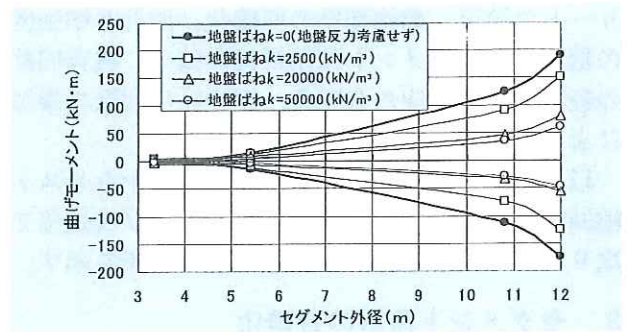


図-4 自重による発生曲げモーメント

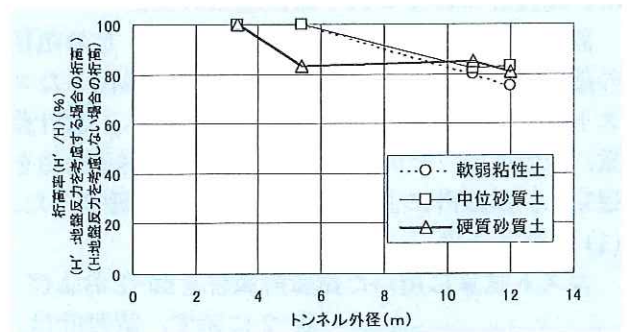


図-5 セグメント外径と桁高率

くなる傾向を示すとともに、外径が大きい程、地盤反力を考慮することの効果は顕著に現れることが分かる。

2) 地盤反力の考慮によるセグメント厚の減少

自重に対して地盤反力を考慮することによって、セグメントに発生する断面力を低減できることが確認できた。そこで、この影響がセグメント厚に対してどの程度の効果を与えるかの試算を行った。

自重に対して地盤反力を考慮するか否かによるセグメント桁高率を図-5 に示す。これより、外径 6 m 程度までの小口径のセグメントでは硬質砂質土を除き、セグメント厚の低減効果は期待できないこと分かる。これは、現状のセグメント厚が小さいこと、および自重による発生断面力の影響が比較的小さいためであると考えられる。一方、大口径のセグメントでは 15～20%程度セグメント厚を低減することが可能となることが分かった。なお、硬質砂質土についてはトンネル外径が 6m 以上の場合には、セグメント厚の低減効果が小さいことが分かった。

3.3 二次覆工の省略の検討

二次覆工は、表-4 に示すようにトンネルの用途に応じて果たす役割が異なる。したがって、二次覆工を省略する場合には二次覆工が果たす役割が大きい項目については、その役割の代替え対策を行う必要がある。二次覆工が果たす役割が大きい主な項目について、二次覆工を省略した場合の代替え対策は表-5 のように整理できる。

表-4 二次覆工が果たす役割

トンネルの用途	トンネル規模	二次覆工の役割										
		蛇行修正	内面平滑化	防食層の形成	止水性の向上	補強効果	耐摩耗性の確保	隔壁構築	添加用金具の取付	耐火層の形成	防振・防音効果	内水圧の対応
下水道	汚水管路 小口径	○	◎	◎	○	○						
	合流管路 中口径	○	◎	◎	○	○					○	
	雨水管路 中口径	○	○	○	○	○					○	
共同溝	中～大口径			○	○	○		◎	○			
道路	超大口径		○	○	○	○			◎			
地下河川	中～大口径	○	○	○	○	○					◎	
鉄道	大口径			○	○	○				○		

◎：二次覆工に期待する役割が大きい。 ○：二次覆工に多少役割を期待する。 無印：二次覆工に役割を期待していない。

表-5 二次覆工省略のための対応策

	二次覆工省略により起こりうる事象・検討事項	考えられる問題点	対応策
下水道	蛇行修正	・トンネル内面に起伏が残る ・下水が溜まる ・汚泥、洗殿物の滞留	・所定の流速が得られない→掃流力の確保・所定の流量が確保できない ・インバートコンクリートによる所定の勾配確保 ・蛇行を考慮して、設計勾配を設定する ・粗度係数の向上
	内面平滑化	・トンネル内面にボルトボックス等の凹凸が残る	・設計粗度係数が満足されない ・所定の流量、流速が確保できない ・ボルトボックス等の穴埋めを行う ・ボルトボックス等の無いまたは、少ないセグメントを採用する ・粗度係数の低い材料の採用
	防食層の形成	・セグメント本体が硫化水素などの劣化要因物質にさらされる	・セグメント本体が劣化する ・金物等が腐食する→トンネルの耐力が低下する ①汚水・合流管渠の場合 ・耐薬品性に優れた材料のセグメントを使用する、または被覆する ②雨水管渠の場合 ・かぶりコンクリートを厚くし、鉄筋の腐食を防止する ・鋼材等を防食処理する ・腐食しない材料を使用する ・鋼材等が露出しないセグメントを使用する
共同溝	隔壁構築	・アーチ部の省略による隔壁(中壁)の設置方法に工夫を要する	・トンネル上部と下部(下部はインバートとの接合)での支持・材料の選択 ・プレキャスト材を下部ではインバートと固定し、上部では単純支持する方法等が考えられる
道路	耐火層の形成	・セグメントが火災にさらされる	・火災時にセグメントが熱せられ、強度低下や破損を起こす→トンネルの耐力が低下する ・トンネル内面に耐火材をつける ・トンネル内面に耐火塗装を行う ・危険物積載車両の通行制限
地下河川	内水圧の対応	・セグメントに直接内水圧が作用する	・セグメントに軸引張力が作用し、継手が開くなどによる漏水が起こる ・フープテンションの発生 ・内水圧にも対応したセグメントを使用する

表-6 試算時における二次覆工の役割の代替え

トンネル用途 代替え対策	下水道		共同溝	道路
	雨水	汚水・合流		
継手の防食対策	○	○	○	○
継手ボックスの穴埋め	○	○	—	—
トンネル内面の被覆	—	○	—	—
耐火用被覆	—	—	—	○

○：二次覆工の代替えとして適用

次に、二次覆工を省略することの効果を検討するため、道路・共同溝・下水道クラスのトンネルを想定して、セグメント内径 10.0m、5.0m、3.05m の 3 種類のトンネル直径について、二次覆工の有無によるコスト試算を行った。試算にあたって、現在の二次覆工の役割を代替するための各トンネルの用途に対する対策項目として表-6 に示すように、主に継手等に対する防食・ボックスの穴埋めに対する対策や、道路トンネルなどでの耐火に対する対策を考慮した。

これらを考慮した試算では、二次覆工を省略した場合、掘削断面縮小の効果を含めて工事費全体では下水道の雨水、汚水・合流でそれぞれ 14%、0%、共同溝で 16%、道路で 5%のコストダウンが可能であった。さらに、予めボルトレスセグメントを採用することが可能な場合には、二次覆工省略に伴う対策費(継手の防食、継手ボックスの穴埋め)を省略または簡略化することが可能となり、

下水道の雨水、汚水・合流でそれぞれ 24%と 10%、共同溝で 20%、道路で 6%とコスト縮減効果が大きくなることが分かった。

4. セグメント製作の合理化

セグメント製作に関連する縮減項目の中から、現状技術で対応可能な縮減項目で効果があると考えられる高流動コンクリート、セグメント補修、コンクリートの設計基準強度の低減について検討を行った。

4.1 高流動コンクリートの適用の検討

高流動コンクリートをセグメントに適用した場合には、①型枠の移動の省略による労務費の縮減、②蓋型枠の採用により表面仕上げの省略による労務費の縮減、③パイブレータの省略により型枠強度の軽減による型枠費の縮減、④パイブレータ設備が不要となることによる工場間接費の縮減

によりコスト削減効果が期待できる。

本検討では、セグメント外径 4.3m のトンネルで 1,000 リングを製作することを想定して、製作型枠数を従来通りの 3 個とした場合について、セグメント製作メカ 3 社によるコスト試算を行った。その結果、セグメントの製作期間が十分ある場合には、セグメント製作費の約 4% が削減でき、工事費全体で約 1% のコストダウンが可能なが分かった。なお、これまで高流動コンクリートを適用した場合の実績としては、セグメント製作費の約 10% をコストダウンした例もあり、今後さらに詳細な検討を行うことでさらにコストダウンできる可能性もあるものと考えられる。

ただし、高流動コンクリートの適用にあたっては、① 所定の脱型強度になるまでの時間が必要、② 製造サイクルが低下、③ 新たに蓋型枠が必要などの課題がある。

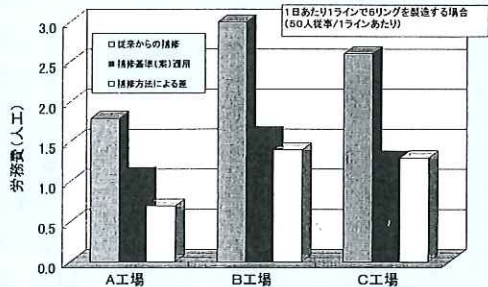


図-6 セグメント補修作業に要する労務費 (人工)

表-7 セグメント補修基準 (案)

	セグメントの補修	検査方法
エア ーボ イド	コンクリート系セグメントの表面に発生するエア ーボイドはその長径が8mm以下であることと し、満足しない場合には適切な補修を行うもの とする。ただし、シール溝内に発生するエア ーボイドはその長径が8mm以下またはシール溝幅 の1/3以下の小さい方を満足することとし、満 足しない場合には適切な補修を行うものとする。	エア ーボ イドの検査は補修の要否の基 準となる見本を用意し、これと比較す ることによって判定することとする。
ひ び 割 れ	コンクリート系セグメントの表面に発生するひ び割れは以下の水準を満足するものとし、満足 しない場合には適切な補修を行うものとする。 ①セグメント内面から外面に達するひび割れは 認めない。	ひ び 割 れの検査は、最もひび割れが発 生しやすいと考えられるセグメントの 継手面で代表して行うものとする。ひ び割れの測定は継手面全体に対して クラックゲージを用いて行うものとする。
損 傷	コンクリート系セグメントに発生する欠け等の 損傷は以下の水準を満足するものとし、満足し ない場合には適切な補修を行うものとする。さ らに、特に著しい損傷を受けたセグメントにつ いては破棄することを原則とする。 ①シール溝に掛かる損傷は認めない。 ②局部的にも鉄筋が露出する損傷は認めない。 ③その他の損傷は深さおよび高さは10mm、幅 は20mmを上回らないこと。	損傷の検査はセグメント全体に対 して行うものとする。測定に当っては、 損傷の限界ゲージ(深さ10mm、高さ 10mm、幅20mm)を用意し、これと 比較することによって評価する。
変 色	コンクリート系セグメントの表面に鉄筋からの 赤錆が露出している場合には、破棄するものと する。その他の要因による変色については、そ のまま使用することを認めるものとする。	変色の検査は、目視によってセグメン ト全体に対して行うものとする。ただ し、継手金具やグラウトホール、吊手 金具等の表面に発生した錆によるセグ メント表面の着色であると判断された 場合には、基準の適用外とし、適切な 事後処理を行う。

4.2 セグメント補修基準の検討

セグメント製作において、脱型後に存在するセグメント表面のエア
ーボイド等の補修については、これまで責任技術者の判断に委ねられていた
が、補修に関する定量的な一定の判断基準を示す
ことによる補修に関わる労務費の低減の可能性を
検討した。調査は、表-7に示す考え方に基
づいてエア
ーボイド、ひび割れ、損傷、変色に関連する
セグメント補修基準(案)を提案し、これに基
づいた補修作業時間の実態調査が1日あたり6
リングのセグメント製作を行う場合の労務費の削減の可
能性について検討した。なお、対象としたセグ
メントは3工場で製作した外径4,300~5,950mmの
3種類のRCセグメントである。図-6に各工場
においてセグメント補修基準を適用した場合の労務
費(人工)の違いを示す。図より、概ね1(人工)
の削減が可能となることが分かった。これから、セ
グメント1m³あたり1,000円程度のコストダウン
が可能となり、工事費全体で約0.2%程度のコス
トダウン効果が期待できることが分かった。

4.3 コンクリートの設計基準強度の検討

現在、コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck} = 42\text{N/mm}^2$ 以上を用いるようになっている。コン
クリートの設計基準強度を低減することによりセ
グメント製作費の低減を図るには、セグメントに
用いるコンクリートの最小設計基準強度を設定す
る必要がある。このため、以下の

3項目から最小設計基準強度を設定することとした。

- ①セグメントの断面設計を行う
上で必要となる最小設計基準
強度
- ②ジャッキ推力に対して必要な
最小設計基準強度
- ③脱型に必要な最小設計基準
強度

①については、過去の事例で
はコンクリートの圧縮応力度が
10N/mm² 以下となる設計が多
いことから、許容応力度の最低
値を10N/mm² として土木学会
によるコンクリートの許容圧縮
応力度の設定式から算定、②は
下水道の標準セグメントにお
ける許容ジャッキ推力から算定
される最大の圧縮応力度から設
定、③はセグメント脱型時の

表-8 コスト削減項目、検討条件および検討方法、検討結果、今後の課題一覧表

分類	具体的な削減項目	検討条件および検討方法	検討結果	採用にあたっての課題
セグメント設計法	良質地盤の作用荷重	緩み荷重を採用する場合の下限値の設定を排除した場合の試算	設計断面力の軽減に効果があることを確認	現段階では良質地盤での作用荷重が検証されておらず、安全性の保障に課題あり
	自重解析に対する地盤反力	自重解析時に地盤反力を考慮した場合の断面力を試算	大規模なトンネルでの効果が高いことを確認	組立時に自重の影響が少なくなるような装置の採用など、施工面からの検討が必要
	セグメント幅および分割数	分割数を5分割+kセグメントと5等分割、セグメント幅を1.0mと1.2mの条件で試算	セグメント製作費の約10%のコストダウンが可能、工事費全体で約3%のコストダウンが可能	セグメントの組立性など施工面からの検討が必要
	継手構造	継手をボルトレス継手にすることによる発生断面力を試算	ボルトレス継手とした場合の効果は確認されなかったが、二次覆工省略時にはボルトレス継手とすることでコストダウン効果が増加	軟弱地盤等における地震時のセグメント変形、継手目開きに対する検討
	二次覆工の省略	二次覆工を省略した場合のコストを試算	掘削断面縮小の効果を含めて工事費全体の0~24% (トンネル用途により異なる)のコストダウンが可能	セグメントの耐久性の確認
セグメント製作	高流動コンクリートの適用	製作型枠数を従来どおりとして1,000リングを製作することを想定して試算	セグメント製作費の約4%のコストダウンが可能となり、工事費全体で約1%のコストダウンが可能	
	セグメント補修	セグメント補修に対する判断基準を明確にして必要な箇所のみ補修とすることで、労務費削減の検討	補修基準(案)の適用により労務費削減が可能、約0.2%のコストダウンが可能	止水性や耐久性への影響の確認
	コンクリートの設計基準強度	材料単価の低減の可能性を検討	セグメントの製作費で約1000円/m ³ 程度のコストダウンが可能、工事費全体で約0.2%のコストダウンが可能	施工時荷重および脱型時の安全性の確保が必要

吊り上げ方法とセグメントおよび型枠重量、吊り上げ時の継手に作用する押し抜きせん断力から算定すると、上記の各基準強度は、それぞれ25N/mm²、26N/mm²と、6N/mm²となった。これらの結果からコンクリートの最小設計基準強度を $\sigma_{ck} = 30\text{N/mm}^2$ として検討した結果、セグメント1m³あたり1,000円程度のコストダウンが可能となり、工事費全体で約0.2%程度のコストダウン効果が期待できることが分かった。ただし、実工事の適用に際しては、コンクリートの強度を低減することによるコンクリート品質の低下に伴うセグメントの耐久性の確保、脱型強度の確保に関して製作サイクルへの影響、ジャッキ推力等の施工時荷重に対する安全性の確保などについて詳細な検討を行う必要がある。

5. まとめおよび今後の課題

各コスト削減項目について検討条件および検討方法、検討結果、今後の課題を取りまとめた一覧表を表-8に示す。これより、コスト削減効果が最も高い項目は、二次覆工省略であることが分かる。また、これら全てのコスト削減項目を採用した場合、トンネル用途により異なるが、最大で約30%弱のコスト削減が可能となることが分かった。

なお、良質地盤の作用荷重や自重に対する地盤反力の取り扱いについては、コスト削減効果が高いことが確認されたが、現状においてはその判断が確実にできるまでのデータの蓄積がなされていないことから、今後、現場における作用荷重の計

測を実施し、より多くのデータの蓄積を行い、安全性と経済効果を確認して行く必要がある。

6. おわりに

本検討はシールド工事における合理化の方向性を示したものであり、実施にあたってはその適用性も含めて十分な検討が必要である。なお、本検討は、東京都下水道局、首都高速道路公団との共同研究の一環で「シールド工事の合理化に関する検討委員会」(委員長:水谷敏則(財)先端建設技術センター常務理事)のもとで検討された成果の一部を取りまとめたものである。関係者のご努力に対し、この場を借りて心から謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) (社)土木学会:トンネル標準示方書(シールド編)・同解説,平成8年など
- 2) 井上弥九郎、真下英人、石村利明、大下武志ほか:シールド工事の合理化に関する共同研究報告書,土木研究所共同研究報告書第274号,平成13年3月

石村利明*



独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ
トンネルチーム
主任研究員
Toshiaki ISHIMURA

真下英人**



同 基礎道路技術研究グループ
トンネルチーム
首席研究員,工博
Dr.Hideto MASHIMO