

錦江湾横断交通ネットワーク可能性調査 (トンネル構造等調査)

目 次

I.調査概要	1
II.設計条件	3
III.縦断勾配及び延長の検討	4
IV.換気検討	6
V.概算工事費	9
VI.その他の検討	10
VII.まとめ・今後の主な課題	13

平成24年2月
鹿児島県

錦江湾横断交通ネットワーク可能性調査については、これまでの調査により、ルートについては、「鹿児島～桜島間」が最も効率的なルートと考えられ、構造については、トンネルを検討することが適当との結果を得ており、トンネルの場合、延長が長くなるなどの課題も明らかとなった。

そのため、本調査は、これまでの結果を踏まえ、鹿児島～桜島間のトンネルを検討するに当たって、トンネルの縦断線形構造（縦断勾配）の検討を行うとともに、縦断勾配を急にした場合に、増加する通行車両の排気ガスに対応できる坑内換気の方法・規模等の検討を行い、トンネル内環境の面も考慮しながら、トンネル延長の短縮が可能かどうか調査・検討する。



図 I-1 位置図

【これまでの結果】

ルート		鹿児島～桜島間		鹿児島～垂水間		指宿～根占間	
ルート概要	構造	橋梁	トンネル	橋梁	トンネル	橋梁	トンネル
	水深(最深)	40m程度		180m程度		100m程度	
	海上距離	2km程度		14km程度		8km程度	
	延長	3,300m程度	6,400m程度	[14,000m程度]	[19,000m程度]	8,000m程度	11,800m程度
費用	概算工事費 (2車線整備の場合)	1,300億円程度	1,200億円程度	[14,000億円程度 (水深や施工性を考慮せず 算出した参考値)]	[3,500億円程度 (水圧や機械の耐久性を考慮 せず算出した参考値)]	7,800億円程度	2,200億円程度
	年間維持管理費	5億円	3億円	[14億円程度]	[8.4億円程度]	10億円	6億円
技術的可能性		施工実績の範疇であり施工可能		水深や延長から現時点の技術に おいては可能性が極めて低い		延長が長いこと等から多大な工事費を要 するが、水深や延長から施工可能	
将来交通量 (H42年:無料の場合)		17,900台/日		22,100台/日		6,700台/日	
期待される 主な効果	建設投資効果額 (産業連関表による分析)	概算工事費の1.7倍					
	開通効果額 ()は大規模幹線への効果 (SCGEモデル分析)	23.1億円/年 (4.3億円/年)		46.4億円/年 (8.7億円/年)		効果はほとんど見込めない	
	費用対便益比 (B/C) (国交省費用便益分析 マニュアルによる分析)	1.4	1.5	[0.2]	[0.8]	0.1	0.3

○ルートについて

錦江湾を横断する交通ネットワークとして、「鹿児島～桜島間」が、一定の将来交通量や経済波及効果が見込まれ、また、施工も技術的に可能と考えられ、費用対便益比(B/C)も1.0を超えていることから、最も効率的なルートと考えられる。

○構造について

錦江湾を横断する交通ネットワークとして大規模な橋梁は、強風や降灰など厳しい自然条件への対応や雄大な自然の景観への影響など課題が多い。

これに加え、橋梁とトンネルの経済波及効果や整備費用の面も考慮すると本ネットワークとしては、トンネルを検討することが適当と考えられる。

II 設計条件

- 錦江湾横断交通ネットワークについては、これまでの調査において、ルートは「鹿児島～桜島間」で、構造は設計速度 60 km/h のシールドトンネル、最急縦断勾配3%、トンネル延長 6,400m 程度としている。

1. 錦江湾横断交通ネットワークの諸元

- 道路種別 : 第3種第2級
- 設計速度 : 60km/h
- 構造 : シールドトンネル (外径: 13.4m)
- 最急縦断勾配 : 3%
- トンネル延長 : 6,400m 程度
- 計画交通量 : 17,900 台/日

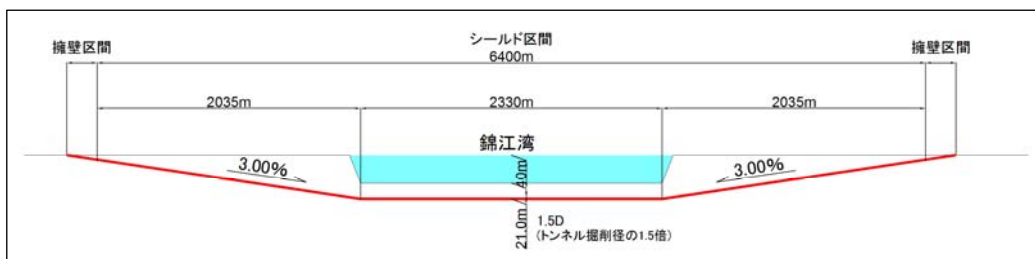
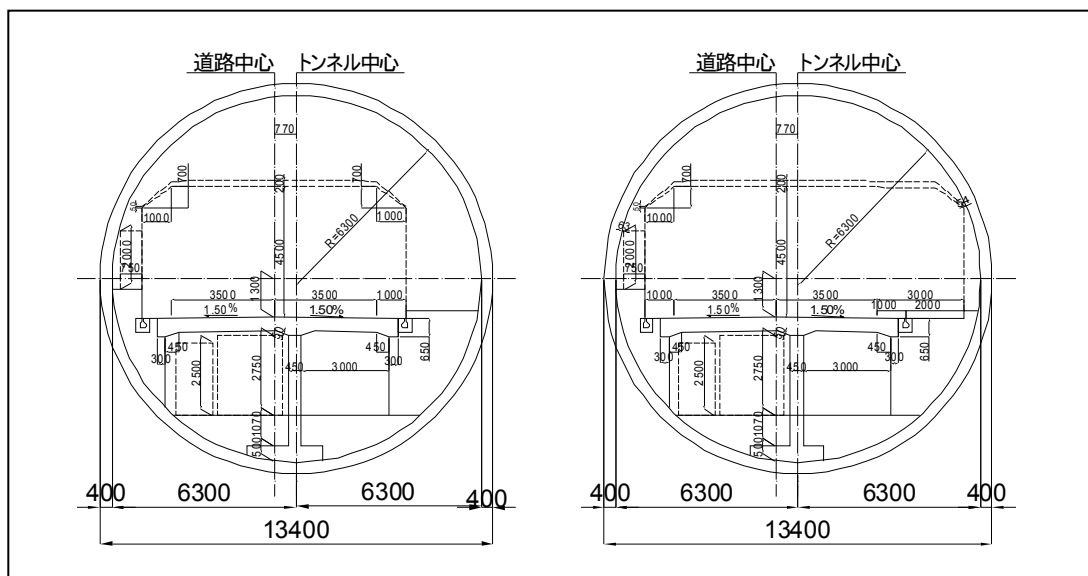


図 II-1 錦江湾交通ネットワークイメージ図 (鹿児島～桜島間 最急縦断勾配 3%)

2. 内空断面

- 幅員構成
 - ・車線: 3.50m
 - ・路肩: 1.00m
 - ・非常駐車帯: 3.00m (駐車帯 2.50m + 側帯 0.50m)
 - ・監査員通路: 0.75m
- 内空断面直径: 12.60m

【シールド標準断面図】



Ⅲ 縦断勾配及び延長の検討

■ Ⅱの設計条件を基本とし、本トンネルの縦断勾配を、技術基準や国内の代表的な海底トンネルの勾配実績を踏まえ、3%、4%、5%に設定

■ それぞれの縦断勾配で、トンネル延長を検討した結果、縦断勾配3%のトンネル延長に比べ、4%の場合は1,000m程度、5%の場合は1,600m程度、延長の短縮を図ることが可能

トンネル縦断勾配(設定根拠)	トンネル延長(3%トンネルとの差)
3%(トンネル縦断勾配の望ましい上限値)	⇒ 6,400m
4%(国内海底シールドトンネル適用の最大値)	⇒ 5,380m(▲1,020m)
5%(道路構造令による設計速度60km/hの場合の規定値)	⇒ 4,770m(▲1,630m)

1. 縦断勾配の設定

(1) 縦断勾配に関する技術基準(道路構造令等)

- ・ トンネルの縦断勾配については、換気上の問題などから3%程度以下とすることが望ましい。
- ・ 設計速度60km/hの場合、縦断勾配は5%以下と規定されており、この範囲であればトンネルにおいても3%を超える縦断勾配の適用は可能
- ・ 規定値を超える値を適用した場合、必要に応じて登坂車線が必要

(2) 国内海底シールドトンネルの事例

表 Ⅲ-1 国内の海底シールドトンネルの事例

トンネル名	縦断図	最急縦断勾配	備考
関門国道トンネル		4%	設計速度60km/h
東京湾横断道路(アクアライン)		4%	設計速度80km/h
東京港トンネル		4%	設計速度80km/h

*道路構造令等において、設計速度80km/hの場合、縦断勾配は4%以下とされている。

2. トンネル延長の算出

3%のトンネルを基に、平坦な部分（錦江湾の海底部分）は変化させず、地上部に取り付く部分の縦断勾配を4%、5%とした場合のトンネル延長を算出

表 Ⅲ-2 縦断勾配別トンネル延長

縦断勾配	トンネル延長		3%トンネルとの差
	勾配部分	平坦部分	
3%	2,035m×2	2,330m	—
4%	1,525m×2		▲1,020m
5%	1,220m×2		▲1,630m

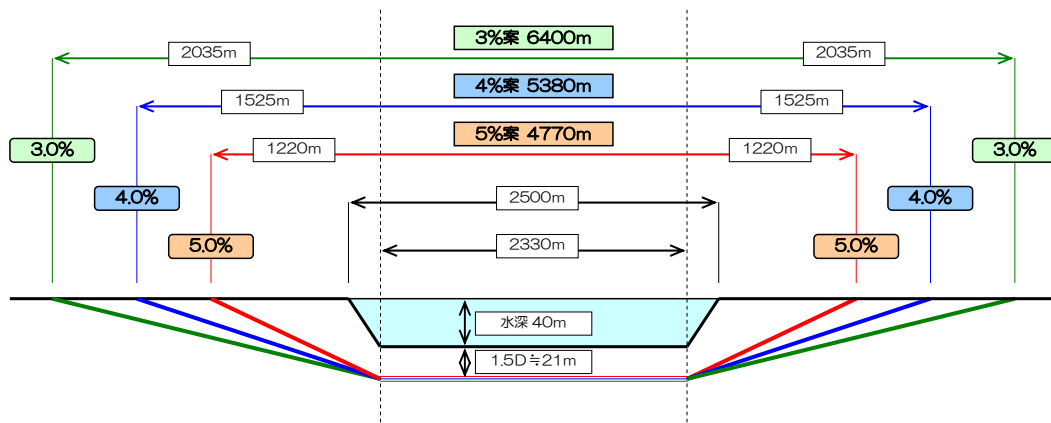


図 Ⅲ-1. 縦断図（縦断勾配 3%、4%、5%）

IV 換気検討

- 自動車等の排気ガスに含まれる煤煙による視界不良や、一酸化炭素による環境悪化などにより、トンネル内の自動車等の安全な走行に支障をきたさないよう換気設備を検討
- 技術基準に基づく換気に係る設計濃度は、速度が 60km/h 以下の場合、
 - ・ 煤煙の設計濃度(100m透過率) ⇒ 40%
 - ・ 一酸化炭素の設計濃度 ⇒ 100ppm
- 本トンネルの縦断勾配を3、4、5%として、各縦断勾配毎に平常時、渋滞時、火災時について換気の検討を行った結果、換気方式は、すべてジェットファン方式で対応可能
- 船舶航行や環境への影響が懸念される海上部の換気塔の設置は不要

1. トンネル換気の方法

トンネル内に車の排気ガスが充満することで、

- ・ 煤煙により、前方の見通しが悪くなり、運転に支障が生じる。
- ・ 一酸化炭素（以下「CO」という）や窒素酸化物等の人体に有害な成分によって、車の窓を開けている運転者、歩行者、坑内作業員等の健康を害する。

これらのことから、トンネルの換気設備は、利用者の安全で快適な通行の確保やトンネル内における環境の確保を目的としている。

2. 換気に係る設計濃度

換気施設の設計の対象とする有害物質は、煤煙及びCOであり、「道路トンネル技術基準（換気編）・同解説（以下「換気基準」という）」により以下のとおり標準値が定められている。

<換気基準 P19>

設計速度	煤煙の設計濃度 (100m透過率)	一酸化炭素の設計濃度
80km/h以上	50%	100ppm
60km/h以下	40%	

3. 換気計算の考え方等

(1) 換気方法選定の考え方

ジェットファン方式は換気所やダクトが不要であるなどコスト面で優位であるため一般的に用いられている。

本トンネルは、海底トンネルであり、中央換気塔などの設置は多大なコストが予想されるとともに、船舶の航行など多方面に影響を与えるおそれがあることから、ジェットファン方式で対応可能か検討を行った。



写真 IV-1 ジェットファン



写真 IV-2 中央換気塔 (東京湾横断道路「風の塔」)

5. 配置計画の検討

(1) 配置の考え方

- ・ 電気室は両坑口付近に設置するものと仮定し、ジェットファンはケーブル延長を短くするためトンネルの両坑口から配置する。
- ・ ジェットファンはφ1250(高風速型)を使用するものとする。
- ・ ジェットファンの配置等については、「換気基準」に基づき2台並列配置とし、所要の設置間隔を確保して配置する。

<換気基準 P90【抜粋】>

解説表-3.3.4 ジェットファンの種類と取付け間隔

型 式	口径 D (mm)	A_j (m ²)	U_j (m/s)	坑口からの距離 (m)	ジェットファン間の距離 (m)
630	630mm	0.27/0.31	30/35	80	80
1000	1030mm	0.83	30/35	140	140
1250	1250mm	1.23	30/35	160	160
1500	1530mm	1.84	30	180	180

注) ジェットファンの設置間隔は、ジェットファンの種類に関係しない。

A_j …ジェットファン吹出断面積

U_j …ジェットファン吹出風速

(2) 検討結果

表 IV-2 ジェットファン配置計画検討結果一覧表

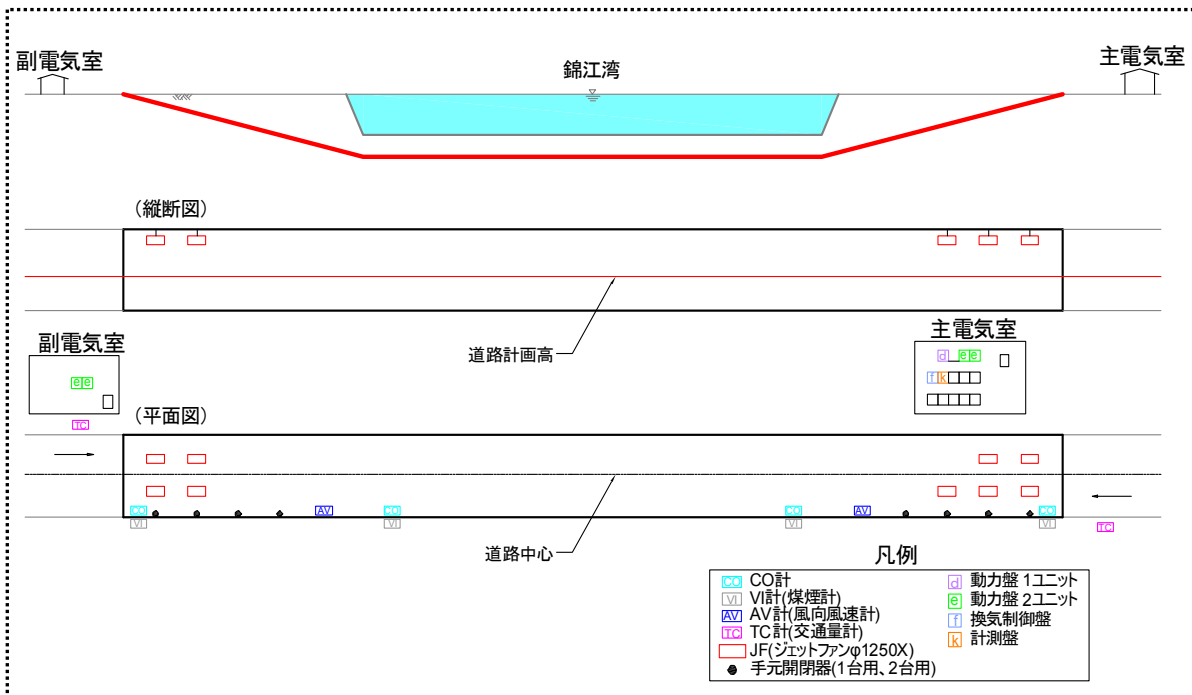
縦断勾配	JF種類	JF長さ	設置基数	JF間隔	坑口からの距離	JF設置必要長	トンネル延長	判定
3%	φ1250 (高風速型)	4.25m	23基	160m	160m	2,131m	6,400m	配置可
4%			12基			1,146m	5,380m	配置可
5%			9基			981m	4,770m	配置可

JF……ジェットファン

※いずれの縦断勾配においても、「トンネル延長」>「ジェットファン設置必要長」であることから、適切なジェットファンの配置が可能である。

【参考】

○機械換気設備配置例（5%勾配の場合）



V 概算工事費

- 縦断勾配を3%から4%、5%とすることで、概算工事費は1,200億円程度から1,000億円、900億円程度となり、5%の場合、300億円程度縮減される見込み。

トンネル縦断勾配	概算工事費	(3%トンネルとの差)
3%	⇒ 1,200億円程度	—
4%	⇒ 1,000億円程度	(▲200億円)
5%	⇒ 900億円程度	(▲300億円)

なお、地質の状況によって、概算工事費は大きく変動する可能性がある。

- 維持管理費についても、トンネル延長が短縮されることで、3.8億円/年程度から3.2億円/年、2.9億円/年程度となり、5%の場合、0.9億円/年程度縮減される見込み。

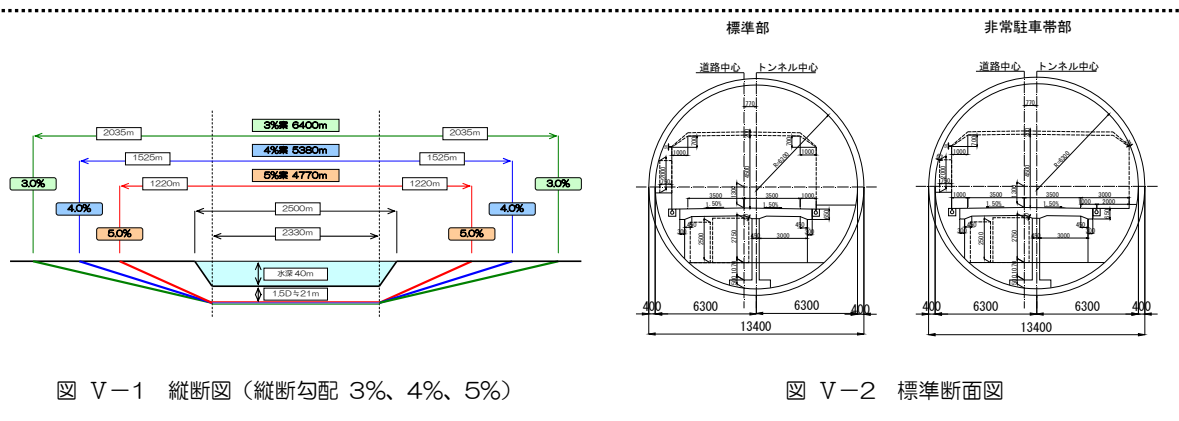
トンネル縦断勾配	維持管理費	(3%トンネルとの差)
3%	⇒ 3.8億円/年程度	—
4%	⇒ 3.2億円/年程度	(▲0.6億円)
5%	⇒ 2.9億円/年程度	(▲0.9億円)

【算出結果】

表 V-1 縦断勾配別概算工事費等一覧表

トンネル諸元	縦断勾配	3.0%	4.0%	5.0%
	トンネル延長	6,400m	5,380m	4,770m
概算工事費	本体工	1,050億円程度	900億円程度	800億円程度
	設備費	150億円程度	100億円程度	100億円程度
	合計 (3%との差)	1,200億円程度	1,000億円程度 (▲200億円)	900億円程度 (▲300億円)
	維持管理費 (3%との差)	3.8億円/年程度	3.2億円/年程度 (▲0.6億円/年)	2.9億円/年程度 (▲0.9億円/年)

- ※ 補償費、用地費、調査設計費は含まない。
- ※ 設備費は、換気設備の他、非常用設備、照明設備等に係る経費を含む。
- ※ 地質の状況によって概算工事費は大きく変動する可能性がある。



VI その他の検討

- トンネルの詳細な検討を行う場合は、地質調査結果等に基づき、更なる安全性の確保やコスト面等、様々な観点からの断面等の検討や工法の選定が必要となると考えられることから、トンネル構造等の変化が概算工事費に与える影響を試算
- 以下の条件で検討を行った場合、概算工事費に次のような影響が見込まれる。
 - ・ 内空断面 断面の縮小(非常駐車帯省略) ⇒ ▲ 50～▲ 60 億円程度
断面の拡大(中央分離帯設置) ⇒ + 60～+ 80 億円程度
 - ・ 構造上の安全性向上(二次覆工・浮上り防止工) ⇒ +120～+150 億円程度
 - ・ 他工法の組み合わせ(立坑発進) ⇒ ▲ 30～▲ 70 億円程度

1. 内空断面の検討

内空断面積は、工事費に直結するため、極力小さい断面が望まれる。

一方で、本トンネルは、海底部を通る長大トンネルであるため、走行の安全確保の観点から中央分離帯の設置も考えられる。

これらのことから、これまでの断面を基本断面とし、次の2つの断面についても検討した。

表 VI-1 断面の概要

名称	内容	内空断面直径
縮小断面	中央分離帯なしで、非常駐車する車が発生した場合でも徐行しながら対面2車が通過できる断面(注)	12.0m
拡大断面	基本断面で中央分離帯1.0mがある断面	13.3m

※ 断面図は12ページに掲載
(注) 東京港トンネルの事例を参考

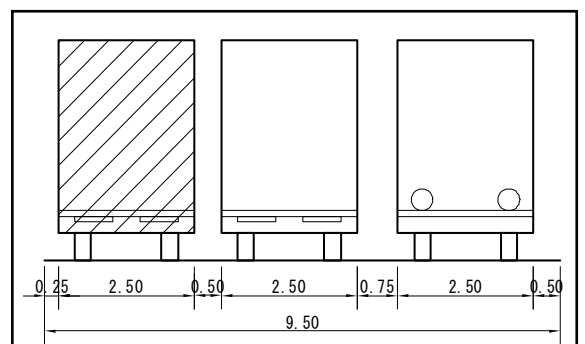


図 VI-1 縮小断面の車両すれ違い図(単位: m)

2. 構造上の安全性の検討

トンネルの外壁等の構造については、周辺地盤の性状や水圧等により大きく左右されるため、詳細な地質調査等を行った上で断面を決定する必要があるが、本調査のトンネル構造に次のような安全対策をさらに加えた場合を検討した。

- 二次覆工 …+80～+100 億円程度
 - ・ トンネル外壁の強度や防水性、防火性の向上
- 浮上り防止工 …+40～+ 50 億円程度
 - ・ トンネル上部の地質が軟弱な場合の浮力防止としてトンネルの不要な空間にコンクリートを充填

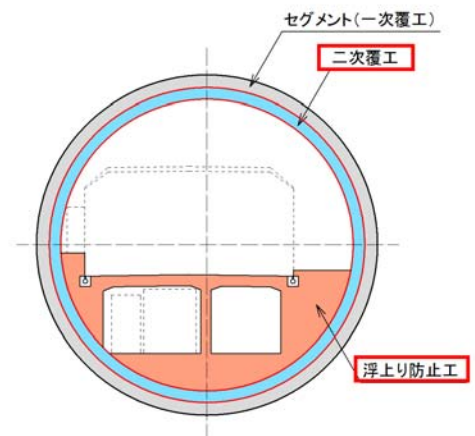


図 VI-2 二次覆工、浮上り防止工のイメージ

3. 他工法（立坑発進）の検討

平成 21 年度の基礎的調査においては、トンネルの区間を全区間シールド工法での施工としている。

一般的には立坑を構築し、立坑間のみをシールド工法でトンネルを施工する機会が多いことから、この工法（立坑発進）を検討した。

ただし、立坑はその位置を地上の土地利用の状況等を考慮して決定する必要があるため、詳細なルートが決定していない本調査においては、仮の位置をモデル的に設定している。

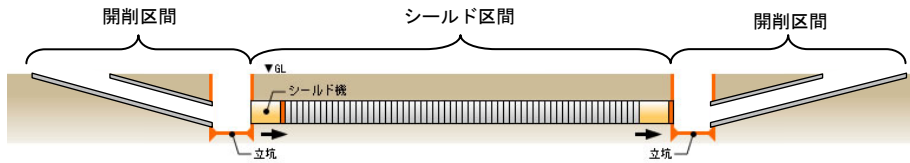


図 VI-3 立坑発進シールド工法



写真 VI-1 シールドマシン地上発進



写真 VI-2 シールドマシン立坑発進

4. 概算工事費への影響

前項までの 1～3 について、概算工事費に及ぼす影響は以下のとおり。

表 VI-2 トンネル構造等の変化による概算工事費への影響（試算）結果

トンネル 諸元	縦断勾配 トンネル 延長	3.0%	4.0%	5.0%	備考
		6,400m	5,380m	4,770m	
概算工事費（基本断面）		1,200 億円程度	1,000 億円程度	900 億円程度	Ⅱ設計条件に 基づく積算
断面 検討	縮小断面	▲60 億円	▲60 億円	▲50 億円	非常駐車帯の省略
	拡大断面	+80 億円	+70 億円	+60 億円	中央分離帯の設置
安全対策強化		+150 億円	+130 億円	+120 億円	二次覆工、浮上り 防止工の施工
他工法併用		▲70 億円	▲40 億円	▲30 億円	シールドマシン 立坑発進

※ 「基本断面」は、望ましい幅員を確保したこれまでの調査で設定した断面
 ※ 補償費、用地費、調査設計費は含まない。
 ※ 地質の状況によって概算工事費は大きく変動する可能性がある。

縮小及び拡大断面図を以下に示す。

表 VI-3 内空断面比較表

	内空断面直径 (m)	標準部	非常駐車帯部
基本断面	12.6		
縮小断面	12.0		
拡大断面	13.3		

※「基本断面」は、望ましい幅員を確保した、これまでの調査で設定した断面

Ⅶ まとめ・今後の主な課題

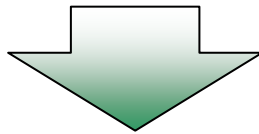
1. まとめ

本調査において、トンネルの縦断勾配等の検討を行った結果は次のとおり。

表 VII-1 錦江湾横断交通ネットワーク（鹿児島～桜島間）トンネル概算工事費等一覧表

トンネル諸元	縦断勾配	3.0%	4.0%	5.0%
	トンネル延長 (3%との差)	6,400m	5,380m (▲1,020m)	4,770m (▲1,630m)
換気方式 (台数)		ジェットファン方式 (23台)	ジェットファン方式 (12台)	ジェットファン方式 (9台)
概算工事費 (3%との差)		1,200 億円程度	1,000 億円程度 (▲200 億円)	900 億円程度 (▲300 億円)
維持管理費 (3%との差)		3.8 億円/年程度	3.2 億円/年程度 (▲0.6 億円/年)	2.9 億円/年程度 (▲0.9 億円/年)

※ 概算工事費に補償費、用地費、調査設計費は含まない。
 ※ 概算工事費等は、地質の状況によって大きく変動する可能性がある。



- 「鹿児島～桜島間」のトンネルの縦断勾配を3%から5%（国の技術基準等の上限）にすることで、トンネル延長は6,400mから4,770mに、概算工事費は1,200億円程度から900億円程度に縮減されることが見込まれる。
 なお、地質の状況によって概算工事費は大きく変動する可能性がある。
- 換気については、ジェットファン方式で対応が可能であり、船舶航行への影響など様々な課題が考えられる海上の換気塔を設置する必要はないと考えられる。

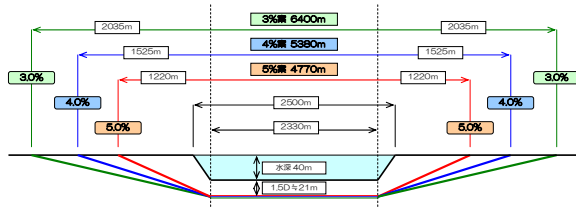


図 VII-1 縦断図（縦断勾配 3%、4%、5%）

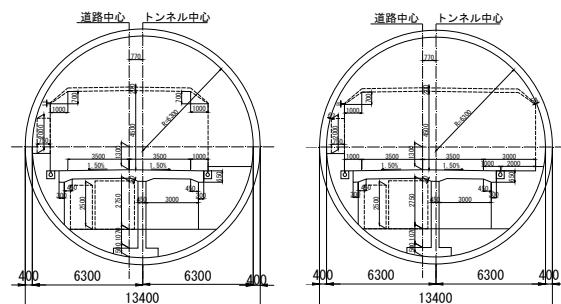


図 VII-2 標準断面図

※ 国が示している技術基準（道路構造令等）においては、設計速度 60 km/h の場合、縦断勾配は 5%以下となっている。

2. 今後の主な課題

項 目	内 容
地形・地質	<ul style="list-style-type: none"> ○ 詳細な検討を行うに当たっては、地形測量や地質調査等の適切な調査を行い、現状を正確に把握・分析した上で、トンネルの安全性の確保に十分配慮する必要がある。
環 境	<ul style="list-style-type: none"> ○ トンネル内を走行する自動車の排気ガスや自動車・ジェットファンによる騒音が発生することから、坑口付近における環境への配慮が必要である。 ○ 桜島側の坑口は、国立公園に位置することから、自然公園法等の規定に基づき、自然景観などへの配慮が必要である。
線形及び構造	<ul style="list-style-type: none"> ○ 本トンネルの縦断勾配については、本調査結果を踏まえるとともに、走行の安全性や坑口の位置などを十分検討して設定する必要がある。 <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ○ 本トンネルの坑口（接続）位置の検討に当たっては、他の道路とのネットワークはもちろんのこと、坑口付近の土地利用の状況等も考慮しながら、最適な坑口位置を決定することが必要である。 <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ○ トンネル断面については、コスト縮減に留意しつつ、外壁厚などの構造上の安全性や非常駐車帯や中央分離帯の設置などの走行の安全性等に十分配慮する必要がある。
利用者の安全性	<ul style="list-style-type: none"> ○ トンネル坑内で火災等の災害が発生した場合にトンネル内の人々を安全に避難させるための方法や設備について、十分検討する必要がある。 （避難路の確保、ラジオ再放送や誘導標識の検討等）
維持管理	<ul style="list-style-type: none"> ○ トンネルの規模や構造、換気などの設備等を検討するに当たっては、安全性を十分確保し、必要な能力を確保しつつ、建設コストの縮減を図るとともに、更新費用や電気代などの維持管理コストの面も十分考慮する必要がある。