

風の影響

- 橋梁の設計に係る風速(設計基準風速)は主桁部で62.6m/s、主塔部で66.9m/s
- この風速は、国内最大級の斜張橋である多々羅大橋の設計基準風速より、主桁部で約4割、主塔部で約2割大きい
- 「鹿児島～桜島間」の風況は、大規模橋梁にとっては厳しい条件と言える

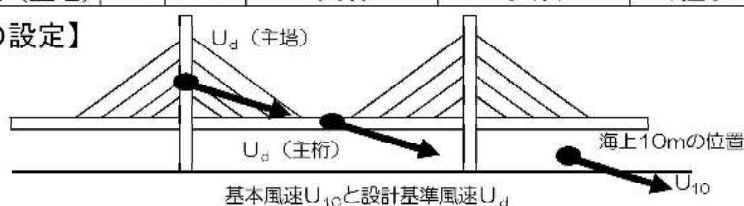
【基本風速および設計基準風速の比較】

	単位	観測値推計		①÷②
		①本橋	②多々羅大橋	
基本風速	U_{10} m/s	40.2	37.0	1.09
設計基準風速(主桁)	U_d m/s	62.6	46.3	1.35
設計基準風速(主塔)	U_d m/s	66.9	54.4	1.23

【強風の影響】

強風が橋梁に与える影響としては、主塔の横揺れ、主桁の縦揺れ、ケーブルの取付部の破壊などが想定される

【設計風速の設定】



【基本風速 U_{10} 】 耐風設計の基本とする風速で、架橋地点の海上10mの高度における10分間平均風速で表す風速

【設計基準風速 U_d 】 設計風荷重の算定、および耐風安定性の検証の基準として用いる風速で、基本風速の構造物の高度による補正係数を乗じて求める風速。対象物構造部材の海上(陸上)からの高さにより異なる

景観への影響

- 鹿児島市の景観計画においては、景観形成基準として城山展望台から桜島への眺望などを確保するため、建築物、工作物の高さに制限が設けられている
- 複数の視点場での合成写真を作成し検討したところ、多くの視点場で、橋梁の主塔やケーブルが桜島などの主眺望と重なり、また、桜島の稜線を分断するなどの影響が見られた

【各視点場における景観の変化の程度】

分類	視点場名	主眺望	主眺望に対する変化の程度			
			橋梁位置【北部エリア】		橋梁位置【南部エリア】	
			主眺望との重なり	稜線の分断	主眺望との重なり	稜線の分断
鹿児島側	北部	石橋公園	重なる	分断する	—	—
		南洲墓地 南洲公園	重なる	分断しない	—	—
	中央部	長島美術館	重なる	分断する	重なる	分断しない
		城山展望台	重なる	分断する	重なる	分断する
		ドックポート (歩道橋先端)	重なる	分断する	一部重なる	分断しない
	南部	鹿児島港 (新港区)	—	—	重なる	分断する
		マリンボート かごしま	—	—	主眺望と並列	分断しない
桜島	湯之平展望所 (桜島)	鹿児島市街	一部重なる	—	一部重なる	—

【合成写真(城山展望台からの眺望の変化)】



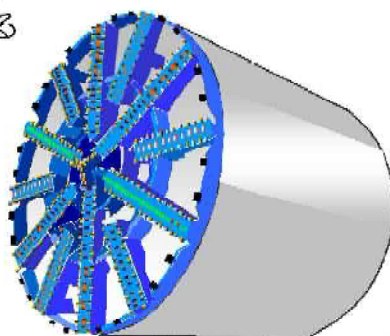
トンネルの構造

■ 施工にあたって船舶の航行や周辺環境への影響が少ない「シールド工法」が最適

【シールド工法】

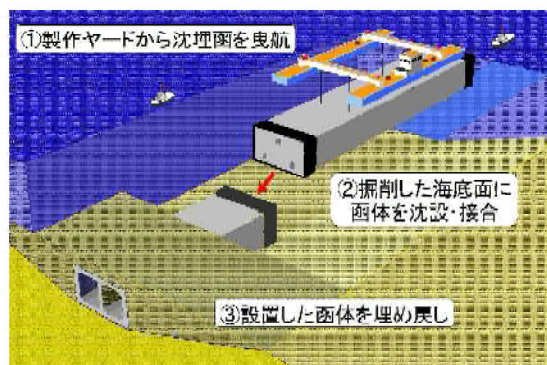
シールドマシンと呼ばれる、前面に地盤掘削用の回転する刃を持つ筒状の機械により、地山の崩壊を防ぎながら掘削・掘進を行い、そのあとにセグメントと呼ばれるパネルをはめこみ、トンネルを構築する工法。周辺環境に与える影響が比較的小さく、様々な地盤に適用可能であることから、都市部や海底のトンネル施工に使われる。

【シールドマシン(イメージ)】



【沈埋工法】

あらかじめ海底面を掘削し、そこにケーソン（沈埋函）を沈めて土をかぶせる工法。浅く、距離が短い場合、シールド工法より有利になることが多い。



【沈埋工法の概念図】

【海底トンネルの事例】

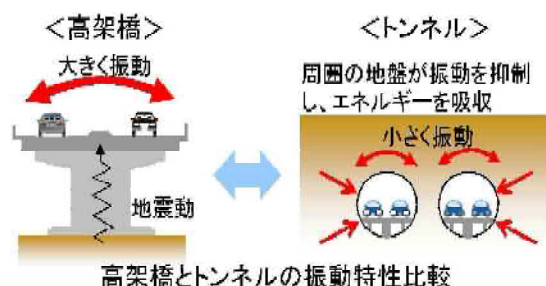
トンネル名	用途	工法	延長	うち海底	水深	土被り	断面	供用	工期
東京湾横断道路	道路	シールド	9.5km	9.5km	30m	14m	φ 13.9m	1997年	10年
関門国道トンネル	道路	シールド	3.5km	0.8km	56m	15m	φ 10.0m	1958年	21年
関門鉄道トンネル	鉄道	シールド	3.6km	1.1km	47m	10m	φ 7.0m	1944年	8年
青函トンネル	鉄道	在来工法	53.9km	23.3km	140m	100m	幅約11m	1988年	15年
英仏海峡トンネル	鉄道	シールド	49.9km	38.0km	60m	40m	φ 8.4m	1994年	7年

トンネルの耐震性について

トンネルは、周辺を囲む地盤が震動を抑制し、エネルギーを吸収するため、橋梁と比較すると、一般的に地震の影響は小さくなります。

なお、トンネルの耐震性は周辺地盤の土質性状などによって大きく変化するので、綿密な土質調査に基づく適切な検討を行う必要があります。

【トンネルと振動】

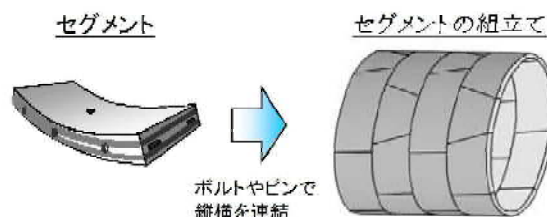


高架橋とトンネルの振動特性比較

図川典：国土交通省「第6回首都高速の再生に関する有識者会議資料」（抜粋）

【シールドトンネルの構造】

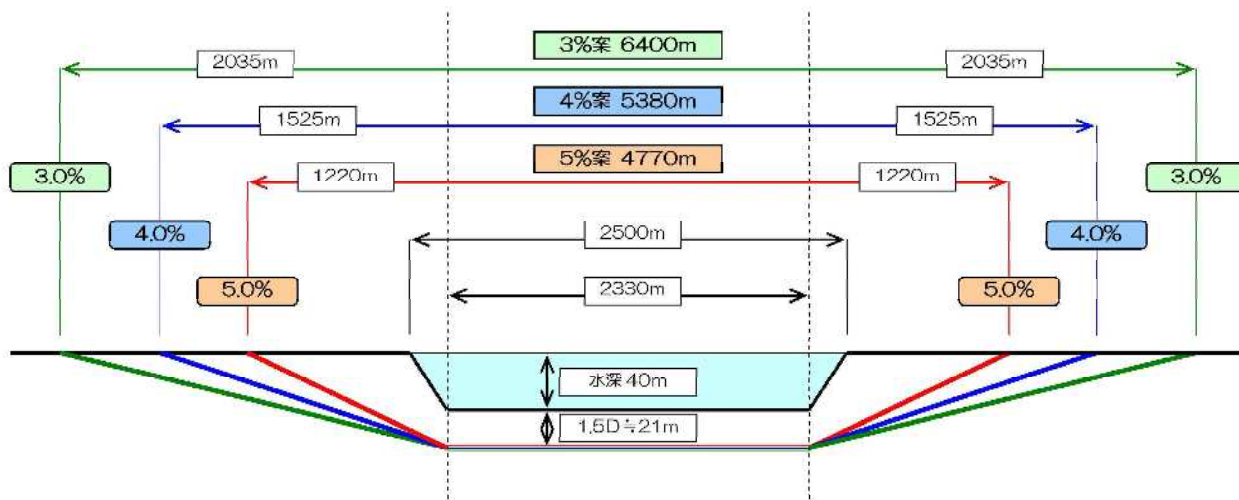
シールドトンネルは、セグメントと呼ばれるパネルを組み合わせてトンネルを構築するため、トンネルの横断方向及び縦断方向に数多くの継手を有するフレキシブルな構造であり、地盤の変位に追従しやすい構造となっている。



トンネルの勾配

- トンネルの縦断勾配を5%にすると3%と比較して、トンネルの延長は1,600m程度短縮可能

勾配	設定根拠	トンネルの延長	3%との比較
3%	トンネル縦断勾配の望ましい上限値	6,400m	—
4%	国内の海底シールドトンネル適用の最大値	5,380m	△1,020m
5%	設計速度60km/hにおける道路構造令上の規定値	4,770m	△1,630m



換気的方式

- 技術基準に基づく換気に係る設計濃度(速度60km/h以下)は、以下のとおり
 - ・ 煤煙の設計濃度(100m透過率) 40%
 - ・ 一酸化炭素の設計濃度 100ppm
- 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な方式。ジェットファン方式で対応できない場合、海上に換気塔の設置が必要となり、コスト増だけではなく、船舶の航行への影響なども懸念される
- 本トンネルについて、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、すべてのケースで換気方式はジェットファン方式で対応可能

【ジェットファン(国道58号和光トンネル)】



【必要なジェットファンの設置台数】

縦断勾配	3%	4%	5%
トンネル延長	6,400m	5,380m	4,770m
ジェットファン台数	23台	12台	9台

*勾配が急になることで車一台あたりの排気ガス量は増加する一方で、延長が短くなることで通過に要する時間が短縮され、排気ガス量は減少する

事業手法の検討

「国直轄事業」「合併施行方式」においてPFI手法を導入した場合に、県にとって相対的に優位

- ◆ 当該3ケースは、県の負担額が他の事業手法に比べて少ない
- ◆ 当該3ケースは、PFI手法の導入により、事業の実施主体におけるVFMを確認できる
- ◆ 当該3ケースは、従来手法により実施した場合でも、補助事業や県単独事業と比べると、県の負担は相対的に少ない
- ◆ 国直轄事業による実施を検討する場合、事業の採択やPFI手法の導入などについて、事業主体である国との十分な調整が必要

事業手法 (注1)				費用の負担総額（億円）（注2）						VFM (県) (注3)
				従来手法			P F I 手法			
				県	国	利用者	県	国	利用者	
無料道路	国道	A	国直轄	196	939	0	172	1,202	0	12.0%
		B	国庫補助	505	701	0	559	630	0	▲4.4%
	県道	C	県単独	1,365	0	0	1,399	0	0	3.6%
合併施行	国道	H	国直轄＋ 県道路公社	109	249	868	105	249	836	5.9%
		I	国庫補助＋ 県道路公社	154	226	868	150	226	836	5.0%

(注1) 検討した事業スキームのうち、高速自動車国道(ケースD、G)については実施される可能性が低いことから、試算の対象から除外した。また、有料道路(ケースE、F)について試算したところ、通行料金収入で事業費を賄えず有料道路事業として成立しなかったことから、上表から除外している

(注2) 費用の負担総額は、設計・建設から維持管理・運営までの全事業期間を通じて見込まれる必要額の合計。現在価値ではなく、各事業年に要する費用の純計である

(注3) VFMは、PFIを活用した場合に削減される、県の費用負担額の現在価値の割合を示す。この値がプラスであれば、VFMが発生しておりPFIが有利であると言える。なお、VFMは現在価値で算出しているため、負担総額の変化幅とは異なる

試算の条件設定

- 事業内容：「鹿児島～桜島間」を結ぶ「海底シールドトンネル」
- 計画延長等：4,770m、対面2車線、最急縦断勾配5%
- 事業期間：設計・建設5年、維持管理・運営30年
- 割引率：2.74%
- 金利：地方債2.1%、民間2.57%
- 初期投資及び
管理運営費等：

	設計費	施設 整備費	維持管理費			SPC 関連経費	利用料金 収入
			維持管理	設備更新	部装更新		
従来手法	3.3億円	900億円	2.9億円/年	82.5億円	2.0億円		31億円 前後/年
PFI手法	3.1億円	810億円	2.6億円/年	71.5億円	1.8億円	約50億円	

- 合併施行方式での初期投資の負担割合：無料道路約32%、有料道路約68%

(留意事項) 試算に使用した諸条件は調査時点での推計値。また、「地質調査」「環境アセスメント」「用地補償」「消費税」などの諸費用については計上していない

検討対象とした事業手法

- 従来手法だけではなく、PFI手法を組み合わせた場合についても検討
- 事業の採算性や、県・実施主体の財政負担に着目
- 収支の試算に加え、各スキームの実現可能性や課題についても検討

【検討対象スキーム】

>無料道路<	ケース	道路種類	事業手法	事業主体
	A	国道	国直轄	国
	B		国庫補助	県
	C	県道	地方単独	県

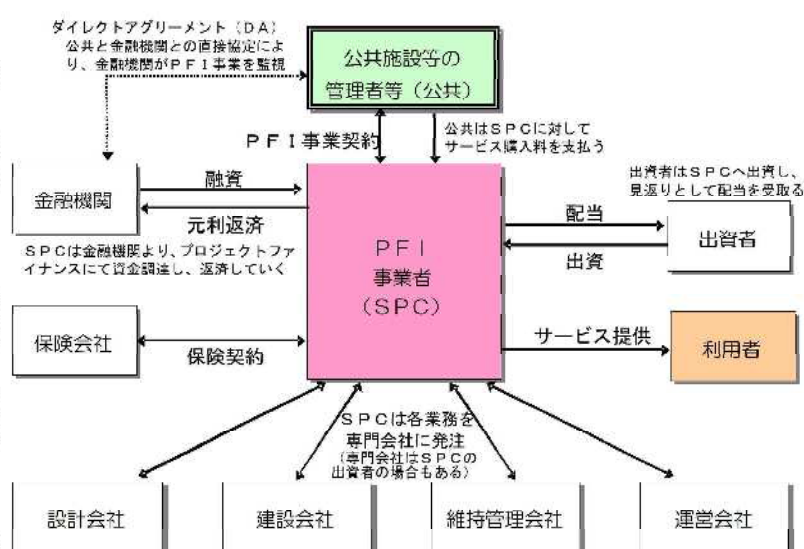
>合併施行<	ケース	道路種類	事業手法	事業主体
	G	国道	A + D	高速道路会社
	H		A + E①	道路公社
	I		B + E①	道路公社

>有料道路<	ケース	道路種類	事業手法	事業主体
	D	国道	高速自動車国道	高速道路会社
	E①		有料道路	道路公社
	E②	県道	有料道路	道路公社
	F		有料道路	県

【合併施行】「無料道路」と「有料道路」を単一の道路事業の中で合併して行う方式。有料道路部分に要する費用については利用者からの通行料金収入により賄う

PFI(Private Finance Initiative)とは

- 民間事業者が主体となり、自ら資金を調達して、公共施設等の「設計」「建設」から「維持管理」「運営」まで、一貫して公共サービスを提供する事業手法
- 一般的に、次のような利点がある。
 - ・ 民間資金を活用することで、公共の初期費用負担を低く抑え、財政支出の平準化が期待できる
 - ・ 民間ノウハウの活用により、コスト削減やサービス品質の向上が期待できる
 - ・ 金融機関が事業を監視するため、事業の安定性・継続性の向上が期待できる



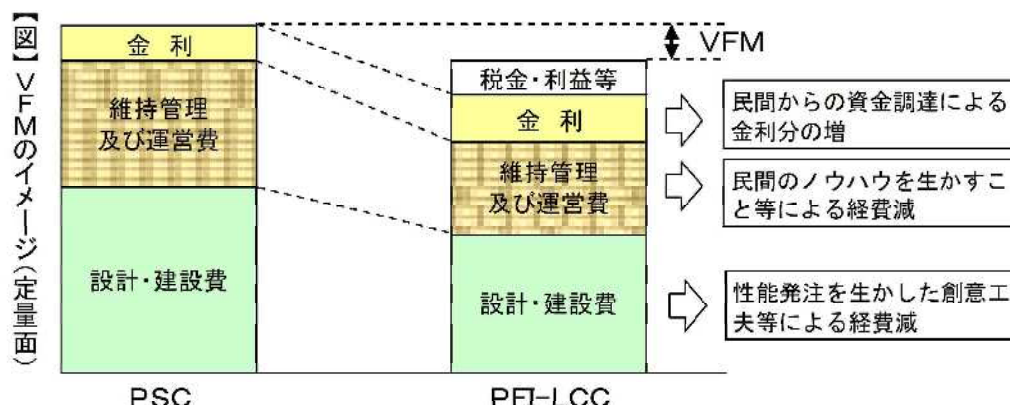
【PFI手法を用いた事業スキーム(サービス購入型PFI事業のイメージ図)】

【SPC】 特別目的会社。ある特定の事業を行うために設立された事業会社

【プロジェクトファイナンス】 特定の事業に対する融資で、返済原資や担保をその事業の利益や資産のみに限定して行う金融手法

VFM(Value For Money)とは

- お金の価値を最大化するという考え方。従来手法で事業を行った場合とPFI手法で事業を行った場合に、どれだけ効果に違いがあるかを示す値。PFI手法の導入可能性を判断する際の指標
- VFMには定量面と定性面の評価がある。定量面での評価はコスト縮減額で評価することが多い



【PSC】 Public Sector Comparator。公共が従来手法で自ら事業を実施した場合において、事業期間全体を通じて公共が負担するコスト(ライフサイクルコスト)の現在価値

【PFI-LCC】 Private Finance Initiative-Life Cycle Cost。PFI事業において、事業期間を通じて、公共が負担するコスト(ライフサイクルコスト)の現在価値

プロジェクト成立の条件

ルートは「鹿児島～桜島間」とすること

- 「鹿児島～桜島間」は、錦江湾にあっては比較的浅い海域であり、ネットワーク整備は技術的に施工可能と考えられる
- 道路延長が短く済むことから、他ルートと比較し、費用面で優位であり、一定の交通量や経済波及効果も見込まれる

構造は「トンネル」とし、工法は「シールド工法」を採用すること

- 「トンネル」は「橋梁」に比べ、強風や降灰の影響を受ける可能性が低く、また、景観や漁業等に与える影響も限定的であり、地震の揺れに追随するなどの特色がある
- 「シールド工法」は海底の掘削などを必要としないため、船舶の航行や自然環境等に及ぼす影響が少ない

費用便益比(B/C)が事業採択の目安(1.0)を上回ること

- プロジェクトとして成立するためには、その事業によって得られる社会的な利益が、必要とする費用を上回っている必要があり、一般的に「費用便益比」が1.0を上回っている場合に妥当と判断される
- 「鹿児島～桜島間」の「トンネル」については、その概算工事費は縦断勾配により900億円～1,200億円程度で、「費用便益比」は1.5～2.0と算出され、1.0を上回っている
- 事業の実施に際しては、その時点で予測される交通量等により、精査する必要がある

事業手法は「国直轄」「合併施行」を中心に、PFI手法の活用も視野に入れて検討すること

- 「鹿児島～桜島間」の「トンネル」は、県庁所在地である鹿児島市と大隅半島を結ぶ国の幹線道路としての役割を担うこと、整備に際し極めて高い技術が要求されること、多大な事業費が見込まれることから、国が直轄事業を基本に整備すべきプロジェクトと考えられる
- 両方式とも、PFI手法の活用により効果が期待できる

残された課題

入念な地質調査等に基づく設計・施工を行うこと

- 海底地質や断層等に関する調査を実施し、危険箇所をできる限り避けたルートを選定するとともに、火山活動や地震に対し十分な安全対策を施す必要がある
- 地形及び地盤条件は、道路の線形やシールド工法の設計、施工の難易度、工事費等に大きく影響するため、その調査は入念に行う必要がある
- 錦江湾周辺は、国立公園や名勝に指定され、多様な動植物が生息しているため、環境調査等を実施するなど、環境や景観を損なわないようにする必要がある

トンネル内の通行について、十分な安全性を確保すること

- トンネル内での火災や交通事故などの発生に備え、緊急時の避難路や防火・防煙施設、通信施設などの設置を行うなどして安全性を十分に確保する必要がある。また、出水などに備え、十分な容量を持った排水施設を設置するとともに、非常用電源の確保を行う必要がある
- 地震などの自然災害や火災などが発生した場合、適切な通行規制等を行うとともに、迅速な避難救出活動を行うための体制を構築する必要がある
- トンネル内で交通事故が発生しないように、照明などの内部環境の整備に努めるとともに、路面などの適切な管理を行う必要がある

関係機関との十分な協議、調整等が図られること

- トンネルの取付道路（出入口）などについては、アクセス道の交通需要予測や将来計画、現在の土地利用状況などを勘案し、関係機関と十分な調整を図った上で決定する必要がある
- 事業手法の検討にあたっては、関係機関との十分な調整が必要である。特に国直轄事業による実施を検討する場合、事業の採択やPFIの導入などについて、事業主体である国との十分な協議・調整が必要である
- 「鹿児島島～桜島間」にはフェリー航路があり、事業者等と十分な協議を行う必要がある

おわりに

これまでの調査の結果、錦江湾を横断する交通ネットワークが成立するための条件として、ルートは「鹿児島～桜島間」、構造は「シールドトンネル」とすることなどが必要であり、また、今後の課題として、「入念な地質調査に基づく設計・施工」や「トンネル内通行の安全性の確保」「関係機関との十分な協議調整」などに努めることが必要であるとの結論を得ました。

本プロジェクトは、概算工事費として900億円～1,200億円程度が見込まれるなど、国・県等が一体となって取り組まなければならない大規模プロジェクトとなります。その必要性については、これまでの調査結果も踏まえ、県民の意向、事業の緊急性や意義、採算性などを総合的に勘案して判断する必要があると考えています。



写真：湯平展望所（桜島）から見る鹿児島市街地