

ISSN 03866-5878⁹⁵

土木研究所資料第3205号

土木研究所資料

海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会 報告書

平成5年8月

建設省土木研究所

「Copyright © (1993) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted,
nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、
複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会 報告書

構造橋梁部 部長 藤原 稔
構造橋梁部 構造研究室長 佐藤 弘史
企画部 橋梁計画官 谷口 信彦

要 旨

本資料は、全国各地の海峡横断道路プロジェクト構想で想定される大規模構造物（超長大橋梁、長大海底道路トンネル）に関する調査を効率的に進めるため、建設省が設置した「海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会」の委員会報告書である。

委員会において行われた主な調査の概要は、以下のとおりである。

- ① 海峡横断道路プロジェクトで想定される各種構造物について、既往の大規模構造物の実績調査を行い、現在の技術水準を整理した。
- ② また、中央径間が2,500mの吊橋等、既往の実績を大幅に超える構造物について試設計を行い、設計・施工上の技術的課題を抽出した。
- ③ そして、これら実績調査や試設計の結果と、プロジェクトが構想されている海峡部の自然条件等を勘案して、今後解決すべき技術的課題とその調査方針についてとりまとめた。

なお、委員会には、土木研究所から地下開発研究官、橋梁計画官、トンネル計画官、道路交通総括研究官および地質、道路、新交通、トンネル、基礎、構造、橋梁、振動、耐震研究室の各室長が幹事として参画した。

キーワード：「海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会」、海峡横断道路プロジェクト、超長大橋梁、長大海底道路トンネル、実績調査、試設計、自然条件、技術的可能性、技術的課題、調査方針

目 次

第1章 委員会の目的、構成および調査の概要	1
1.1 委員会の目的	
1.2 委員会の構成	
1.3 調査の概要	
第2章 既往の大規模構造物の実績	4
2.1 橋梁	
2.1.1 上部構造	
2.1.2 下部構造	
2.2 トンネル	
2.3 海洋構造物	
第3章 試設計による課題の抽出	12
3.1 橋梁に係わる課題の抽出	
3.1.1 上部構造	
3.1.2 下部構造	
3.2 トンネルに係わる課題の抽出	
第4章 海峡横断道路プロジェクト構想の技術的可能性および技術的課題	16
4.1 橋梁	
4.1.1 上部構造	
4.1.2 下部構造	
4.2 トンネル	
第5章 今後の技術調査の方針	19
参考図	21

第1章 委員会の目的、構成および調査の概要

1. 1 委員会の目的

近年、我国の経済および社会の発展に伴い、広域的な地域の活性化を図るため、津軽海峡道路、東京湾口道路、伊勢湾口道路、紀淡連絡道路、関門海峡道路、豊予海峡道路、島原・天草・長島架橋等、全国各地で海峡部を横断する道路プロジェクトが構想されている。

現在、本州四国連絡橋および東京湾、伊勢湾、大阪湾における湾岸道路等の大規模な道路事業が鋭意進められており、ここでの技術の進歩にはめざましいものがあるが、今後の海峡横断道路プロジェクト構想においては既往の実績を上回る大規模構造物が含まれる可能性があり、新たな技術的課題が予想される。また、本州四国連絡橋、東京湾横断道路等の実現までの経緯を見てもわかるように、大規模なプロジェクトは調査・設計のみに限っても十年を越える期間を必要としており、新たな海峡横断道路プロジェクトの調査には、広い視野からの高度な検討が必要と考えられる。

建設省では、従来より本州四国連絡橋、東京湾横断道路等の調査・設計・施工に関する調査研究を進めてきているところであるが、上述のような状況のもと、今後の大規模構造物（超長大橋梁、長大海底道路トンネル）に関する調査を効率的に進めるために、学識経験者からなる技術調査委員会を設置した。委員会では、専門家の提言、助言をいただきながら、各地の海峡横断道路プロジェクト構想の技術的可能性を総括的に調査し、今後の技術調査の方針をとりまとめることとした。

1. 2 委員会の構成

海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会は、大学等の学識経験者ならびに建設省関係者より構成される。

(委員長)

吉田 巖

㈱本州四国連絡橋エンジニアリング代表取締役社長

(委員)

伊藤 学

埼玉大学工学部建設工学科教授

栗林 栄一

豊橋技術科学大学工学部建設工学課程教授

駒田 敬一

東京湾横断道路調査会常務理事

今田 徹

東京都立大学工学部土木工学科教授

成田 信之

東京都立大学工学部土木工学科教授

吉中 龍之進

埼玉大学工学部建設基礎工学科教授

高田 邦彦

建設省道路局企画課道路経済調査室長

加納 研之助

建設省道路局有料道路課有料道路調整官

南部 隆秋	建設省道路局国道第一課建設専門官
沼田 敏樹	建設省道路局国道第二課建設専門官
加賀田 晋成	建設省関東地方建設局道路部長
石河 信一	建設省中部地方建設局道路部長
星野 満	建設省近畿地方建設局道路部長
飯島 尚	建設省土木研究所研究調整官
神崎 紘郎	建設省土木研究所道路部長
藤原 稔	建設省土木研究所構造橋梁部長
飯田 裕	建設省土木研究所地震防災部長
山口 浩二	本州四国連絡橋公団設計部長
高田 志郎	本州四国連絡橋公団工務部長

(平成5年2月10日現在)

1.3 調査の概要

委員会は、平成3年度から平成4年度にかけて4回開催された。開催年月日および主な審議事項は以下の表に示すとおりである。

表1-1 委員会の調査経緯

	開催日時・場所	主 な 審 議 事 項
第1回	平成3年11月15日 10:00~12:00 東海大学校友会館	- 委員会設立 - 国内の海峡横断道路プロジェクト構想 - 大規模構造物の実績および計画
第2回	平成4年 2月13日 10:00~12:00 東海大学校友会館	- 大規模構造物の実績および計画 - 海峡横断道路プロジェクトで想定される技術的課題
第3回	平成4年 6月16日 10:00~12:00 東海大学校友会館	- 試設計による技術的課題の抽出 - 海峡横断道路プロジェクトで想定される技術的課題
第4回	平成5年 2月10日 16:00~18:00 東海大学校友会館	海峡横断道路プロジェクトで想定される技術的課題

委員会において行われた主な調査の概要を以下に示す。

- ① 海峡横断道路プロジェクトで想定される各種構造物について、既往の大規模構造物の実績調査を行い、現在の技術水準を整理した。
- ② また、中央径間が2,500mの吊橋等、既往の実績を大幅に超える構造物について試設計を行い、設計・施工上の技術的課題を抽出した。
- ③ そして、これら実績調査や試設計の結果と、プロジェクトが構想されている海峡部の自然条件等を勘案して、今後解決すべき技術的課題とその調査方針についてとりまとめた。



海峡名	海上距離	最大水深
津軽海峡	東側 約13km 西側 約19km	270m 140m
東京湾口	約15km	80m
伊勢湾口	約20km	100m
紀淡海峡	約11km	120m
豊予海峡	約14km	200m
早崎瀬戸	約5km	120m
長島海峡	約2km	70m

図1-1 国内の主な海峡部の概要

第2章 既往の大規模構造物の実績

海峡横断道路プロジェクトで想定される各種構造物について、現在の技術水準を整理すべく既往の大規模構造物の実績を調査した。ここでは、橋梁、トンネルを初め、大水深海域における設計・施工上参考にすべき点が多いと考えられる海洋構造物についても調査を行った。

2. 1 橋梁

プロジェクトが予定されている海峡部は海上距離が長く水深も深い。このため、橋梁の計画にあたっては、より径間長の長い上部構造とより水深の深いところに適用可能な下部構造が要求される。

2. 1. 1 上部構造

径間長を最も長くできる上部構造形式は吊橋である。これに対する実績としては現在建設中の明石海峡大橋が世界最大規模のものであり、1,990mの中央径間長を有している。

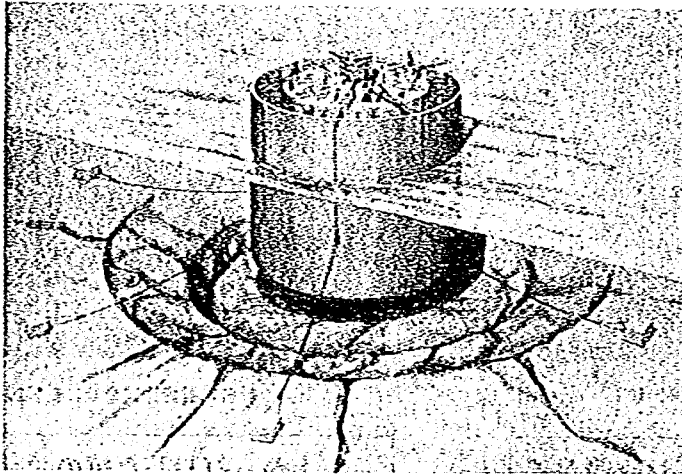
表2-1 主な長大吊橋の実績例

橋 名	中央径間長 (m)	幅 員 (m)	主塔高 (m)	完成年	国名
明石海峡大橋	1,990	30	287.2	建設中	日本
Great Belt Eastern Bridge	1,624	24.1	255.1	建設中	デンマーク
Humber Bridge	1,410	24.2	155.5	1981	イギリス
Verrazano Narrows Bridge	1,298	26.76	191.97	1964	アメリカ
Golden Gate Bridge	1,280	25.77	210.41	1937	アメリカ
Mackinac Bridge	1,158	16.46	156.97	1957	アメリカ
南備讃瀬戸大橋	1,100	22.5	179.55	1988	日本
Fatih Sultan Mehmet Bridge	1,090	30.8	111.1	1988	トルコ
Bosporus Bridge	1,074	33.4	165	1973	トルコ
George Washington Bridge	1,067	35.56	170.54	1931	アメリカ

注：主塔高さが異なる場合は高い方を示した

2. 1. 2 下部構造

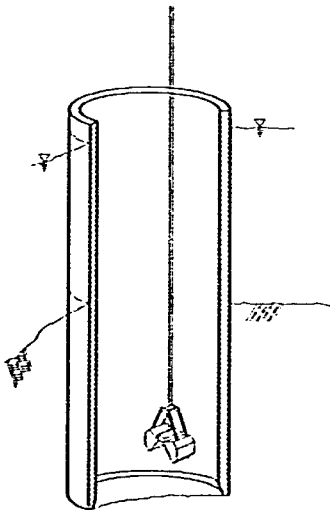
水深の深いところにおける代表的な基礎工法としては、設置ケーソン基礎、オープンケーソン基礎、ニューマチックケーソン基礎、地中連続壁基礎、多柱式基礎、鋼製水中基礎等がある。



出典：本州四国連絡橋公団第一建設局
垂水工事事務所，明石海峡大橋

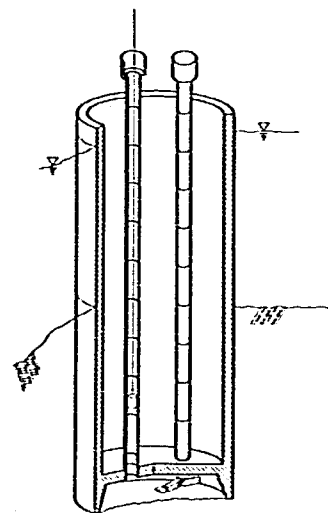
基礎を支持する硬い地盤（支持層）が海底面から浅い位置にある場合に用いられる基礎形式で、まず表層を掘削して支持層を露出させ、そこに地上で製作した鋼製または鉄筋コンクリート製の筒状の枠（ケーソン）を設置し、その後、筒の内部にコンクリートを打設して基礎とする工法。

図2-1 設置ケーソン基礎



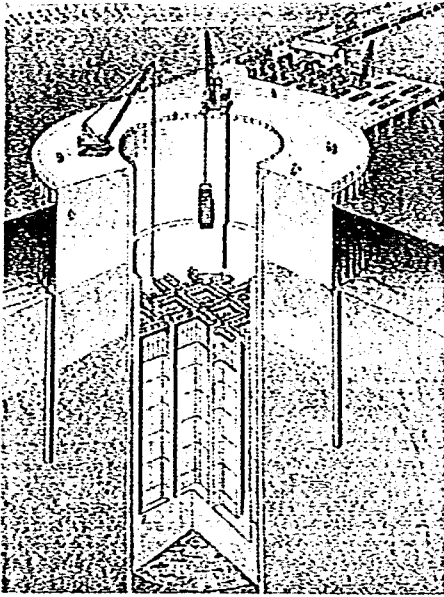
地上で製作した筒状の鉄筋コンクリート製躯体を所定の位置に設置し、その後、海上からグラブバケット等により躯体直下の地盤を水中で掘削して躯体を所定の支持層まで沈下させ、底部にコンクリートを打設して基礎とする工法。

図2-2 オープンケーソン基礎



筒状の躯体の先端付近で節状の版によって仕切り、先端部側の気圧を高くして躯体内部に水が侵入するのを防止し、地盤を直接目視できる状態で、人力または機械掘削して躯体を所定の支持層まで沈下させ、その後、底部にコンクリートを打設して基礎とする工法。

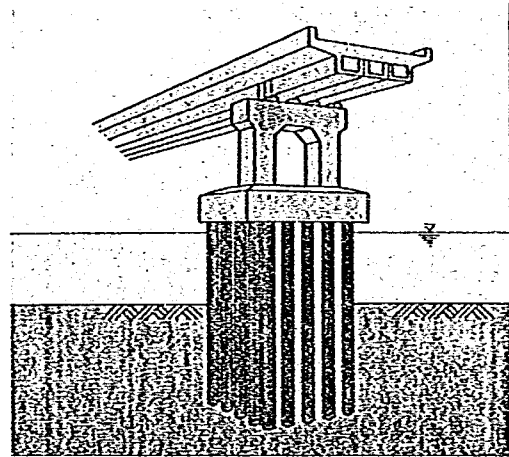
図2-3 ニューマチックケーソン基礎



出典：北海道開発局室蘭開発建設部，白鳥大橋' 81ニュース

溝状に支持層まで掘削した孔に鉄筋かごを挿入し、コンクリートを打設した部材（地中連続壁という）相互を特殊な継手部材を用いて閉鎖形状に結合し、その上部に躯体を構築して基礎とする工法。他に、地中連続壁で囲まれた部分の地盤を支持層まで掘削し、コンクリートを打設する形式のものもある。

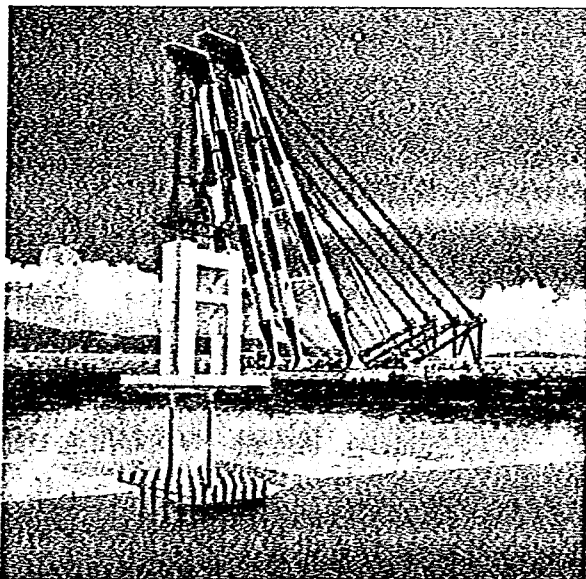
図2-4 地中連続壁基礎



出典：新日本製鐵株式会社，新日鐵の鋼管杭工法

海上から打設した杭の頭部を海上まで立ち上げ、杭頭部相互を版状の部材（頂版という）で連結して基礎とする工法。

図2-5 多柱式基礎



出典：関西国際空港株式会社建設事務所，関西国際空港

海上から打設した杭を海底面で切断し、その上に地上で製作した鋼製の躯体を設置し、その後、躯体内部にコンクリートを打設して基礎とする工法。

図2-6 鋼製水中基礎

この中で、設置ケーソン基礎は支持層が海底面から比較的浅い位置にある場合に適した基礎であり、明石海峡大橋では水深約50mの位置で施工されている。

一方、支持層が海底面から深い位置にある場合に適した基礎としては、オープンケーソン基礎、ニューマチックケーソン基礎、地中連続壁基礎、多柱式基礎、鋼製水中基礎等がある。これらに対する主な橋梁の実績を見てみると、オープンケーソン基礎では Mackinac Bridge (アメリカ) が水深約43m、ニューマチックケーソン基礎では Golden Gate Bridge(アメリカ) が水深約24m、地中連続壁基礎では白鳥大橋が水深15m、多柱式基礎では横浜港横断橋（横浜ベイブリッジ）が水深15m、鋼製水中基礎では東京湾横断道路が水深22mとなっている。

表2-2 国内の主な大規模基礎の実績例

基礎形式	名 称	水 深	下端 標高	基 礎 寸 法 A*B*H(m)	完成年
設置ケーソン 基礎	南備讃瀬戸大橋	36m	-50m	59*38*55	1984
	明石海峡大橋	50	-60	φ 80*70	1991
オープン ケーソン基礎	広島大橋	15	-50	φ 10*60	1973
	海田大橋	15	-60	φ 16*62	1987
ニューマチック ケーソン基礎	名港西大橋	12	-45	35*33*45	1984
	東京港連絡橋	12	-46	70*45*51	1991
地中連続壁基礎	白鳥大橋	15	-103	φ 37*110	1992
	明石海峡大橋	陸 上	-73	φ 80*75.5	建設中
多柱式基礎	大鳴門橋	5	-25	φ 7*27	1981
	横浜港横断橋	15	-84	φ 10*75	1987
鋼製水中基礎 (鋼管杭)	関西空港連絡橋	15	-69	φ 1.5*48.5	1991
	東京湾横断道路	22	-60	φ 1.6*66.7	建設中

注：基礎が複数の場合は最大規模のものを示した

表2-3 海外の主な長大吊橋の基礎の実績例

橋 名	基 礎 形 式	水 深	下端 標高	基礎平面寸法 A*B(m)
Great Belt Eastern Bridge	設置ケーソン基礎	21.0m	-23.0m	35.0*78.1
Humber Bridge	オープンケーソン基礎	陸 上	——	——
Verrazano Narrows Bridge	オープンケーソン基礎	13.1m	-51.8m	69.8*39.3
Golden Gate Bridge	ニューマチックケーソン 基礎	24.4m	-30.5m	91.4*47.2
Mackinac Bridge	オープンケーソン基礎	42.7m	-63.1m	φ35.4
Fatih Sultan Mehmet Bridge	直接基礎	陸 上	——	——
Bosporus Bridge	直接基礎	陸 上	——	——
George Washington Bridge	直接基礎	4.6m	-21.3m	29.9*27.1

注：1) 表2-1における海外の長大吊橋の実績を示した
2) 陸上部の基礎は諸元を省略した

2.2 トンネル

海峡を横断するトンネル工法としては、山岳トンネル工法、シールドトンネル工法、沈埋トンネル工法等があり、現地の地形・地質条件、航路条件、トンネル長さ等に応じ適切な工法を選定する必要がある。

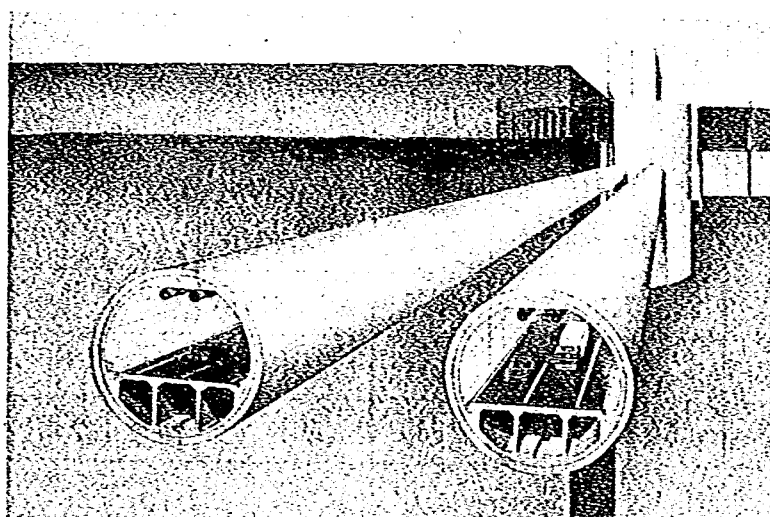
山岳トンネル工法は地質が良好で土被り厚さが十分に確保できる場合に適した工法であり、道路トンネルの代表的なものとして、延長約16.3kmの St.Gotthard(スイス)がある。また、水底トンネルの代表的なものとしては、鉄道トンネルの例であるが、20数年の歳月をかけて1988年に完成した全長約54km（うち海底部約23km）の青函トンネルがある。



出典：日本道路公団東京第二建設局
越トンネル工事事務所、関越自
動車道関越トンネル

トンネル工法の中で最も広く用いられている工法で、掘削と支保構造物の構築とを繰り返してトンネルを完成させる工法。

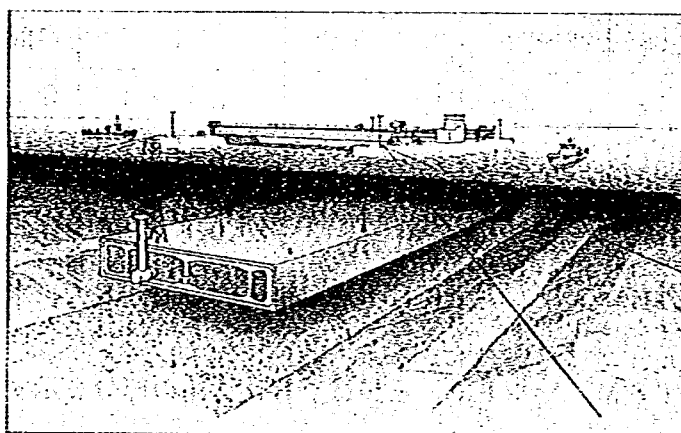
図2-7 山岳トンネル工法



出典：東京湾横断道路株式会社，東京湾横断道路

立坑から「シールド」と呼ばれる強固な筒形鋼殻によって保護された空間のもとに、掘削、覆工、裏込め注入、シールドの推進等の作業を繰り返してトンネルを完成させる工法。

図2-8 シールドトンネル工法



出典：首都高速道路公団湾岸建設局，多摩川・川崎航路トンネル

浚渫した水底の掘削部に、他所で製作したトンネル函体をユニットごとに沈設し、継手で接続し土砂で埋め戻してトンネルを完成させる工法。

図2-9 沈埋トンネル工法

シールドトンネル工法は土被り厚さが比較的薄い場合でも適用可能な工法であるが、山岳トンネル工法と比べ歴史も新しく、実績としては東京湾横断道路で建設が進められている外径13.9m、延長9.5kmのシールドトンネルが最大規模のものである。

沈埋トンネル工法は比較的水深の浅い場合に適した工法であり、これの代表的なものとしては首都高速道路湾岸線で建設が進められている函体寸法幅39.9m×高さ10m、延長約1.5kmの多摩川トンネルがある。

表2-4 主な山岳トンネル工法の実績例（道路トンネル）

トンネル名	延長(m)	完成年	国名	備考
St. Gotthard	16,322	1980	スイス	
Arlberg	13,972	1978	オーストリア	
Frejus	12,868	1980	フランス, イタリア	
Mont Blanc	11,600	1965	フランス, イタリア	
関越	11,010	1991	日本	
青函	53.85(km)	1988	日本	参考：鉄道トンネル

表2-5 主なシールドトンネル工法の実績例

トンネル名	外径φ	土被り	水圧or水深	シールド全長(km)	完成年	国名
Ahmed Hamdi Road Tunnel'Suez #1#3	11.6m	~51m	4.5kg/cm ²	1.6	1980	エジプト
平野川調節池 #1	11.0m	22~23m	2.5kg/cm ²	1.3	1985	日本
環状7号線地下河川#1#2	13.7m	31~43m	4.1kg/cm ²	2.0 + 2.5	建設中	日本
東京湾横断道路 #1#2#3	13.9m	約 15m	54m	2.5 * 8本	建設中	日本
Channel Tunnel #2#3	8.4m	40~ m		20.0 + 18.9	建設中	イギリス, フランス

注：1）外径はセグメント外径、シールド全長は100m未満を四捨五入、水圧は泥水圧or泥土圧、水深は水面からシールド下端までの深さ

2）#1は大断面トンネル、#2は長距離トンネル、#3は海底トンネル

3）Channel TunnelはTBMシールドで、延長はφ8.4mの部分を示す

表2-6 主な沈埋トンネル工法の実績例（道路トンネル）

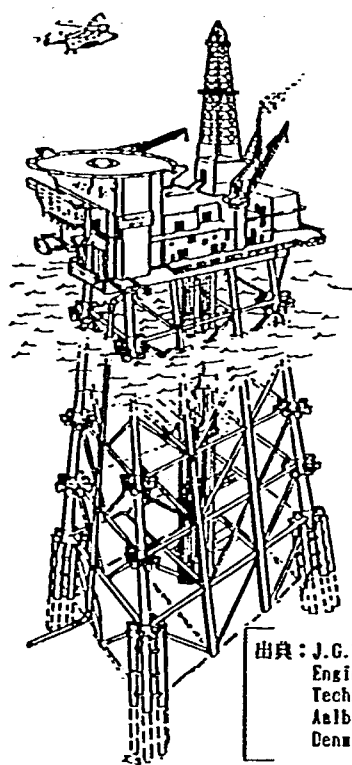
トンネル名	函体寸法B*H*L(m)	<形状>	沈埋全長	完成年	国名	備考
Parana Santa'Fe	φ10.8*92	<円形>	2367 m	1969	アルゼンチン	
E3 Elbe	41.5*8.4*132	<矩形>	1057 m	1975	西ドイツ	
Drecht	48.8*8.08*115	<矩形>	345 m	1977	オランダ	
多摩川	39.9*10*128.6	<矩形>	1549.5m	建設中	日本	
川崎航路	39.7*10*131.2	<矩形>	1187.4m	建設中	日本	
BART Tube	6.6*14.6*105	<小判形>	5820 m	1970	アメリカ	参考：鉄道トンネル

2. 3 海洋構造物

海洋における大規模構造物の代表的なものとして、海洋石油開発におけるプラットフォーム（固定式足場）がある。

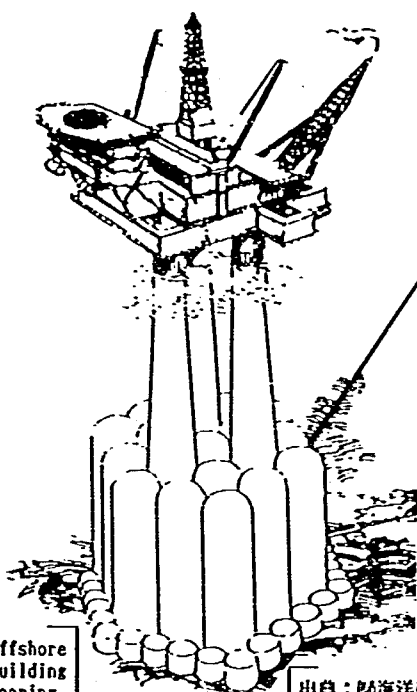
プラットフォームには鋼製のものとコンクリート製のものがあり、鋼製プラットフォームでは、メキシコ湾において既に水深405mの海中に建設されている。また、コンクリート製プラットフォームについても、北海において水深303mの海中に建設が進められている。

これらの構造物は、道路構造物とは目的を異にするため、支える上部構造の重量が全く異なり橋梁の基礎としてそのまま適用できるものではなく、耐用年数および安全率等についても十分な調査が必要であるが、大水深海域における設計の考え方や施工技術等、参考にすべき点が多いと考えられる。



出典：J.G.Tiner, paper, Lecture on offshore Engineering, Institute of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University Centre, Aalborg, Denmark, spring 1978

図2-10 鋼製プラットフォーム



出典：財海洋架橋調査会，海洋構造物の設計施工に関する調査研究報告書（昭和60年度海外調査），1988.3

図2-11 コンクリート製プラットフォーム

表2-7 主な大規模プラットフォームの実績例

鋼製プラットフォーム				コンクリート製プラットフォーム			
場 所	名 称	水 深	備 考	場 所	名 称	水 深	備 考
米 国	Bullwinkle	405m		北 海	Troll	303m	建設中 または 計画
	Harmony	366m			Midgard	300m	
	Heritage	327m			Draugen	251m	
日 本	いわき沖	154m	参考	日 本	—————	—————	

第3章 試設計による課題の抽出

海峡横断道路プロジェクトにおいて想定される大規模な橋梁、トンネルについて試設計を行い、設計・施工上の技術的課題を抽出した。

3. 1 橋梁に係わる課題の抽出

3. 1. 1 上部構造

上部構造に関しては、明石海峡大橋と同様の補剛トラス桁を有する3径間吊橋について、その中央径間長を2,500mおよび3,000mとした場合の検討を行った。

中央径間長と上部構造の単位長さあたりの自重の関係を示したものが図3-1である。中央径間長が2,000mを超えるにしたがい、上部構造の単位長さあたりの自重の増加が急激になるため、耐風安定性を確保しつつ上部構造の自重の軽減を図ることが経済性の観点から重要であり、より耐風性に優れた桁断面やケーブルの張り方に工夫をこらす等の検討が必要となる。

なお、上部構造の中でも、中央径間長の増加に伴う単位長さあたりの自重の増加は、吊構造部に比べ、ケーブルで著しい。これは、中央径間長の増加に伴いケーブルが負担する荷重の中でケーブルの

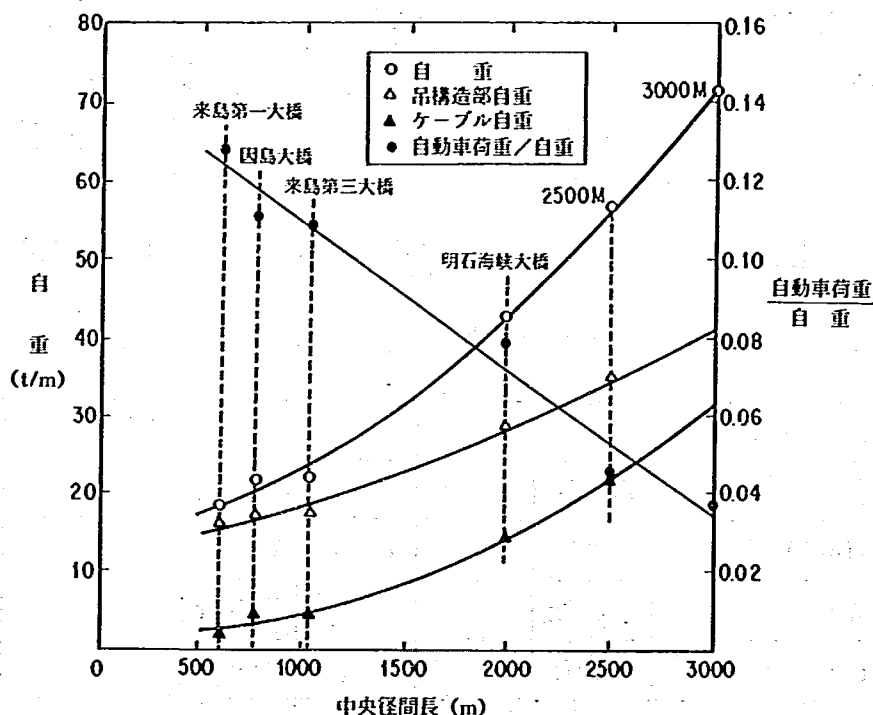


図3-1 中央径間長と自重の関係

自重が占める割合が大きくなるためであり、明石海峡大橋の中央径間長を大幅に上回る吊橋の実現のためには、従来使用されてきたものより高強度かつ軽量で信頼性の高いケーブル材料を見いだす必要がある。

また、中央径間長と風荷重による水平方向たわみの関係を示したものが図3-2である。中央径間長の増加にしたがい水平方向たわみが増加するため、上部構造の安全性の確保および自動車の走行性の確保等について検討が必要である。

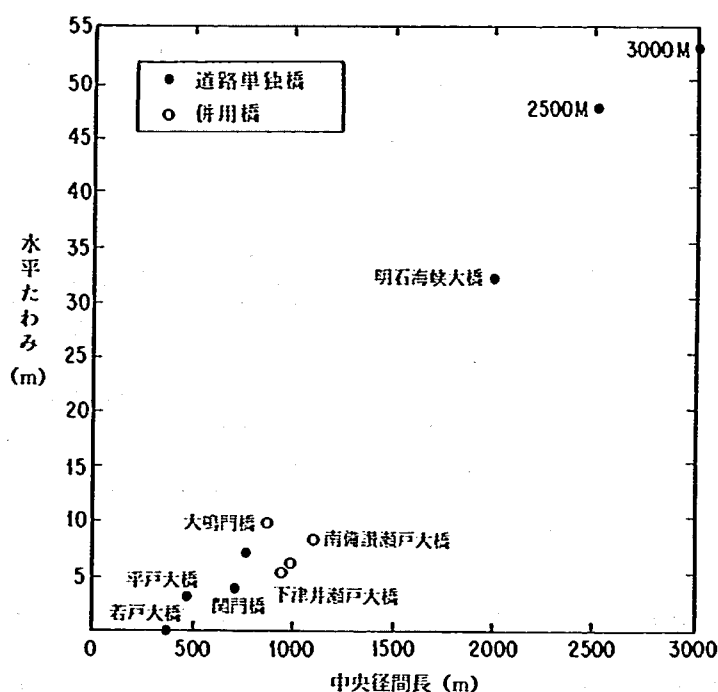


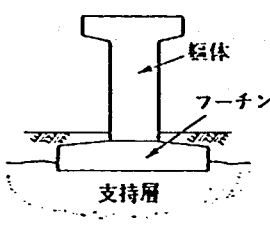
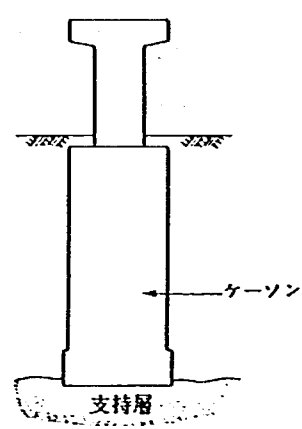
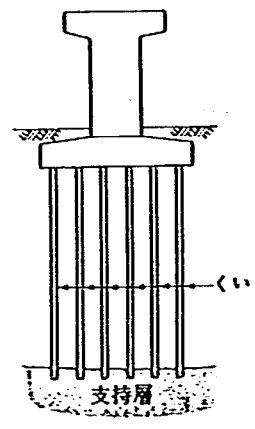
図3-2 中央径間長と水平方向たわみの関係

3. 1. 2 下部構造

プロジェクトが構想されている地点によっては、本州四国連絡橋の場合と異なり海底面付近に良好な支持地盤がない場合も想定され、活動度の高い大規模断層の近傍に位置するものもある。このため、明石海峡大橋と同規模の中央径間長を有する吊橋の主塔基礎について、このような厳しい条件の組み合わせとして、軟弱地盤でマグニチュード8、震央距離50km程度の地震を想定した検討を行った。

2. 1. 2で述べた水深の深いところにおける各基礎工法を基礎形式に分類すると、直接基礎、剛体基礎および弾性体基礎に大別されるが、この場合、基礎形式としては、オープンケーソン基礎、ニューマチックケーソン基礎および地中連続壁基礎のような剛体基礎でなければ対応は困難であった。

表3-1 基礎形式の分類

形式	直接基礎	剛体基礎	弾性体基礎
形状			
概要	地盤への根入れの浅い基礎	基礎自体の弾性変形を無視できるほど剛な根入れの深い基礎	基礎自体の弾性変形を考慮する必要がある根入れの深い基礎
工法	設置ケーソン基礎	オープンケーソン基礎、ニューマチックケーソン基礎、地中連続壁基礎	多柱式基礎、鋼製水中基礎

さらに、剛体基礎の場合でも、基礎の平面寸法が直径120mと明石海峡大橋の直径80mと比べ著しく巨大なものとなるため、基礎の内部を中空にするとか断面を絞る等、基礎の自重の軽減を図るための設計・施工上の工夫が必要である。

なお、ここで想定したような大規模断層近傍における地震のデータはほとんどないのが現状であり、このような場合の地震力については不明の点が多い。また、地震力が大きいため、現行の耐震設計法では基礎が上述のように著しく巨大化し、現実的な設計ができなくなる恐れがある。このため、設計用入力地震動の設定も含め、より合理的な耐震設計法の検討が必要である。

3.2 トンネルに係わる課題の抽出

トンネルについては、地質条件等により山岳トンネル工法、シールドトンネル工法、沈埋トンネル工法等の適用が考えられるが、ここでは現在までに実績のない大断面（3車線）シールドトンネルをとりあげ、水深約80mのシールドトンネル工法が適用できる海底地盤を想定して検討を行った。

トンネル内空断面を、建築限界、点検用通路、換気設備スペースおよび標識スペース等を考慮し直径16.4mと設定し、トンネルの土被りを浮力に対する安定性等から1D（D：トンネル直径）とすると、1次覆工（セグメント）、2次覆工の厚さはそれぞれ85cm、45cm（合計厚130cm）となり、シールドトンネルの外径は図3-3に示すように直径19mとなった。

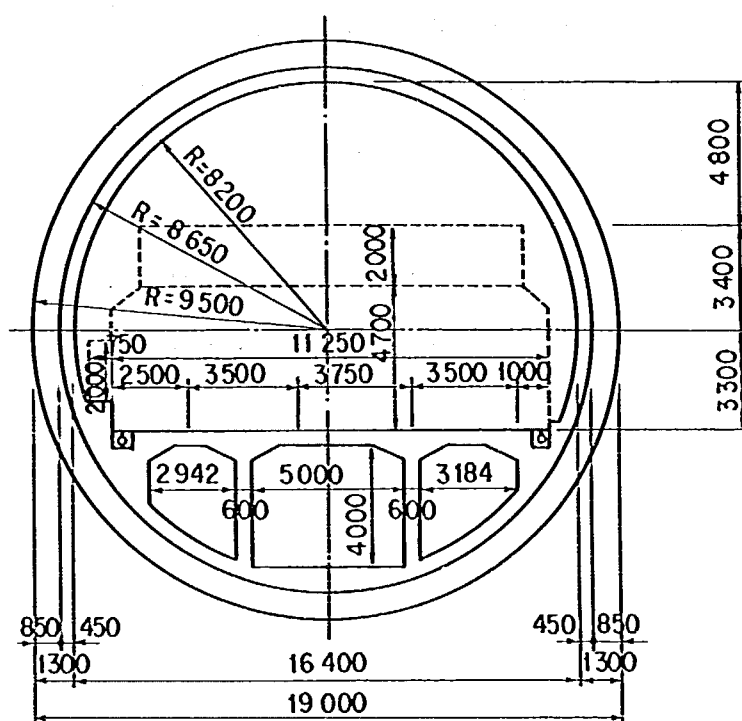


図3-3 大断面（3車線）シールドトンネルの概略寸法

シールド機については、直径20m程度までは現状技術である程度対応可能と考えられるが、実績としては東京湾横断道路でようやく直径13.9mのものの建設が開始されたところであり、シールドトンネルの断面の大きさが実績の積重ねにより現在まで発展してきた経過を考えると、大断面化に向けさらなる施工データと経験の蓄積が必要である。

また、シールドトンネルの場合、プロジェクトが構想されている海峡部は水深が深く延長も長いため、高水圧、長距離掘進への対応も重要な課題であり、現状技術のより一層の改良も必要である。

第4章 海峡横断道路プロジェクト構想の技術的可能性および技術的課題

各プロジェクトに関する技術的可能性の判断にあたっては、地形、地質、気象、海象および地震など現地の自然条件を的確に把握しておく必要があり、自然条件に不明の点が多い場合には、技術的可能性に結論を下すことは困難である。現在のところ、プロジェクトが構想されている海峡部の自然条件は、必ずしも十分には把握されておらず、特に、重要度の高い地形、地質条件に関しては、不明な点が多い。今後、地形、地質条件をはじめとする自然条件の調査を進めていく必要がある。

したがって、各プロジェクト構想の技術的可能性の評価の問題は、自然条件に関する調査が十分に進んだ時点で、その時点における技術力を勘案して、結論すべき問題であると考えられる。

ここでは、海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会における審議結果を踏まえ、各プロジェクトで構想される大規模構造物の、現時点における技術的可能性ならびに解決すべき技術的課題を総括的に述べることとする。

4. 1 橋梁

4. 1. 1 上部構造

超長大橋梁の上部構造で最も重要な課題は、台風など強風に対する安全性の確保である。

概ね2, 000mの中央径間を有する3径間吊橋は明石海峡大橋で経験済みであり、これを2～3割程度上回るものは、明石海峡大橋と同様の構造を想定することによっても、耐風設計は不可能ではないが、合理的かつ経済的な上部構造の設計は難しい。より経済的な上部構造の検討、および工費の低減、工期の短縮を目指した架設工法の検討等を行う必要がある。すなわち、明石海峡大橋と同様の構造を想定した場合、強風による変形に耐えうるため剛性の高い補剛桁が必要となり、自重が増加する。このため、強風に対する安全性を確保しつつ経済的な上部構造を設計する方法、たとえばより耐風性に優れた桁断面やケーブルシステム等を用いた吊橋を開発すること等が必要である。また、中央径間の増加に伴い、上部構造の減衰性能が低下し、このため地震時の変形が大きくなることも予想されるため、減衰性能を向上させるような制震技術の開発も必要となる。

さらにより中央径間の長い吊橋を技術的に可能にするためには、新形式吊橋に関する技術開発が必要である。新形式吊橋の開発にあたっては、耐風設計はもとより、耐震設計、ケーブル材料など多くの分野における技術開発が必要となる。これらの技術開発は、超長大橋のみならず、明石海峡大橋よ

りも中央径間の短い通常の長大吊橋に対しても、そのより合理的かつ経済的な設計法の確立に役立つことを留意すべきであろう。

海峡の地形的条件あるいは航路条件によっては、橋梁として4径間以上の多径間吊橋を想定しなければならない可能性がある。多径間吊橋は、3径間吊橋に比べ隣接する主径間のケーブル剛性が小さくなるので、主塔が橋軸方向に変形しやすくなり、自動車荷重による上部構造の鉛直方向のたわみも大きくなる。また、振動特性も3径間吊橋とは異なる。したがって、現行の、3径間吊橋に対して用いられている設計方法では、多径間吊橋の設計に不十分な場合が想定される。現在までのところ、わが国の多径間吊橋の実績は極めて少なく、戦後建設された4径間吊橋の中央径間は高々160mである。このため、多径間吊橋を対象とした新たな設計法を開発する必要がある。

4. 1. 2 下部構造

下部構造の可能性は、主として水深と海底地盤の性状とに左右される。

海底の地盤が良質で、海底面の近くで基礎を支持できる場合には、約50mの水深での施工は明石海峡大橋で経験済みであり、これを2～3割程度上回る水深までであれば設置ケーソン等により施工は不可能ではないと考えられる。ただし、より合理的かつ経済的な施工法の開発が必要である。

なお、海底の地盤が軟弱で、支持層が海底面から深い位置にある場合には、現在の施工法が適用可能な水深は、海底地盤が良質な場合に比べより浅くなる。

水深がこれらの値を超える場合には、現在の施工法では対応が非常に困難になり、新しい施工法の開発が必要である。また、これらに対応するため新形式基礎の開発も必要になる。

なお、プロジェクトによっては、近距離において大規模な地震が想定される箇所がある。このような場合の地震力については不明の点が多く、現行の耐震設計法では合理的な設計ができないおそれがある。このため、設計用入力地震動の設定も含め、現行の耐震設計を見直す必要がある。

4. 2 トンネル

海峡を横断する道路トンネルの工法としては、山岳工法、シールド工法、沈埋工法が考えられ、現地の地形・地質条件、航路条件、トンネルの長さ等に応じ、適切な工法を選定する必要がある。

山岳工法が適用できる地質の場合、青函トンネルの技術を用いれば、トンネル本体の設計施工は技術的に可能である。

シールド工法が適用できる地質の場合、2車線断面であれば東京湾横断道路（外径13.9m、シールド底面海面下54m）の技術の延長上で技術的に可能であるが、2車線を超えるトンネル断面については、それに対応した技術開発を行う必要がある。また、大深度における高水圧への対応、長距離掘進への対応等、より効率的な施工技術の開発が必要である。

沈理工法の場合、大水深下での施工技術の開発が必要であり、また、土被りが小さいので、地震時の対策を十分検討することも必要である。沈埋函の曳航、沈設作業にあたっては水域の占用が必要となり、船舶航行の激しい海峡部での沈理工法の適用は困難であるが、今後は、このような状況においても適用が可能な新たな施工技術を開発する必要がある。

いずれの工法による場合も、トンネル延長が相当に長くなることから、換気、非常用施設等の付属施設の合理的な設置、運用手法に関する技術開発が必要である。また、通行する自動車に対してより快適な環境を提供することも重要となる。

この他、水中トンネルなど、新形式の構造物についても、長期的視点より研究を進めていく必要がある。

第5章 今後の技術調査の方針

今後実施すべき調査、研究、開発の目標を表5-1にまとめる。

既往の実績を2～3割程度上回る範囲の大規模構造物を、より経済的・合理的に計画するためには、相当な技術開発を行う必要があり、向こう数年間、中期的な目標として体系的に取り組む必要がある。

また、長期的課題に対しても、技術開発の当該の課題を解決するばかりでなく、既存の技術の合理化、効率化をもたらすと考えられることから、21世紀初頭を目標に、今から研究に着手しておくことが必要である。

さらに、こうした技術開発は、世界のスーパープロジェクト構想の実現に資するためにも、このような目標をもって進められることが望ましい。

これらの課題の解決のためには、既存の技術の継承を図るとともに、目標を設定して計画的に研究や技術開発を進めていくことが効率的であり、海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会を拡充・発展させるとともに、例えば、本州四国連絡橋において蓄積された技術の活用を図りつつ、技術的課題に対し、本格的な調査・研究に着手することを提案する。

なお、その際、個々のプロジェクトについても、自然条件の調査、固有の技術的課題の特定およびその課題の解決のための調査・研究を進める必要がある。

表5-1 技術的課題に対する調査、研究、開発目標

項 目		中 期 的 目 標	長 期 的 目 標
橋梁の設計・施工	超長大吊橋の耐風設計	より耐風性に優れた桁断面やケーブルシステムの開発	新形式吊橋の開発
	超長大吊橋上部構造の設計・施工	工費の低減、工期の短縮を目指した施工法の開発	ケーブル材料に関して、従来の強度(180kgf/mm ²)を超える高強度鋼線や新材料の開発
	長大多径間吊橋の設計・施工		長大多径間吊橋の合理的設計・施工法の開発
	大深度(大水深、軟弱地盤)基礎の設計・施工	既往基礎形式の拡張による、 ・大水深直接基礎 ・深い軟弱地盤内に設置可能な大深度剛体基礎 の設計・施工法の開発	大水深海域に適用可能な新形式基礎の設計・施工法の開発
	超長大吊橋の耐震設計	近距離大規模地震における設計用入力地震動の設定方法の開発 基礎の動的安定照査法の開発 減衰性向上のための制震技術の開発	新形式吊橋の耐震設計法の開発
トンネルの設計・施工	大断面・大深度トンネルの設計・施工	大断面シールド工法の開発(3車線) 大深度シールド工法の開発	海上作業を最小限とする沈埋トンネルの新工法の開発 耐震設計法の開発 水中浮遊式トンネル工法の開発
	付属施設	換気施設の合理的な運用手法の開発	長大水底トンネルにおける非常用施設のあり方 超長大トンネルの走行時の心理的影響の把握

参 考 図

- 図-1 ケーブルの高強度化と吊橋スパンの長大化の歴史
- 図-2 明石海峡大橋
- 図-3 既往基礎形式の拡張による大水深への対応のイメージ（設置ケーソンの場合）
- 図-4 耐風性に優れた桁断面の例
- 図-5 吊橋の剛性を高めるケーブルシステムの例
- 図-6 新形式吊橋の例
- 図-7 3径間吊橋と比較した場合の多径間吊橋の特徴
- 図-8 新形式基礎の例
- 図-9 減衰性向上のための制震技術のイメージ
- 図-10 3車線シールドトンネルの断面（外径20m）のイメージ
- 図-11 水中トンネルの例
- 図-12 TMD（動吸振器）による制振効果の例

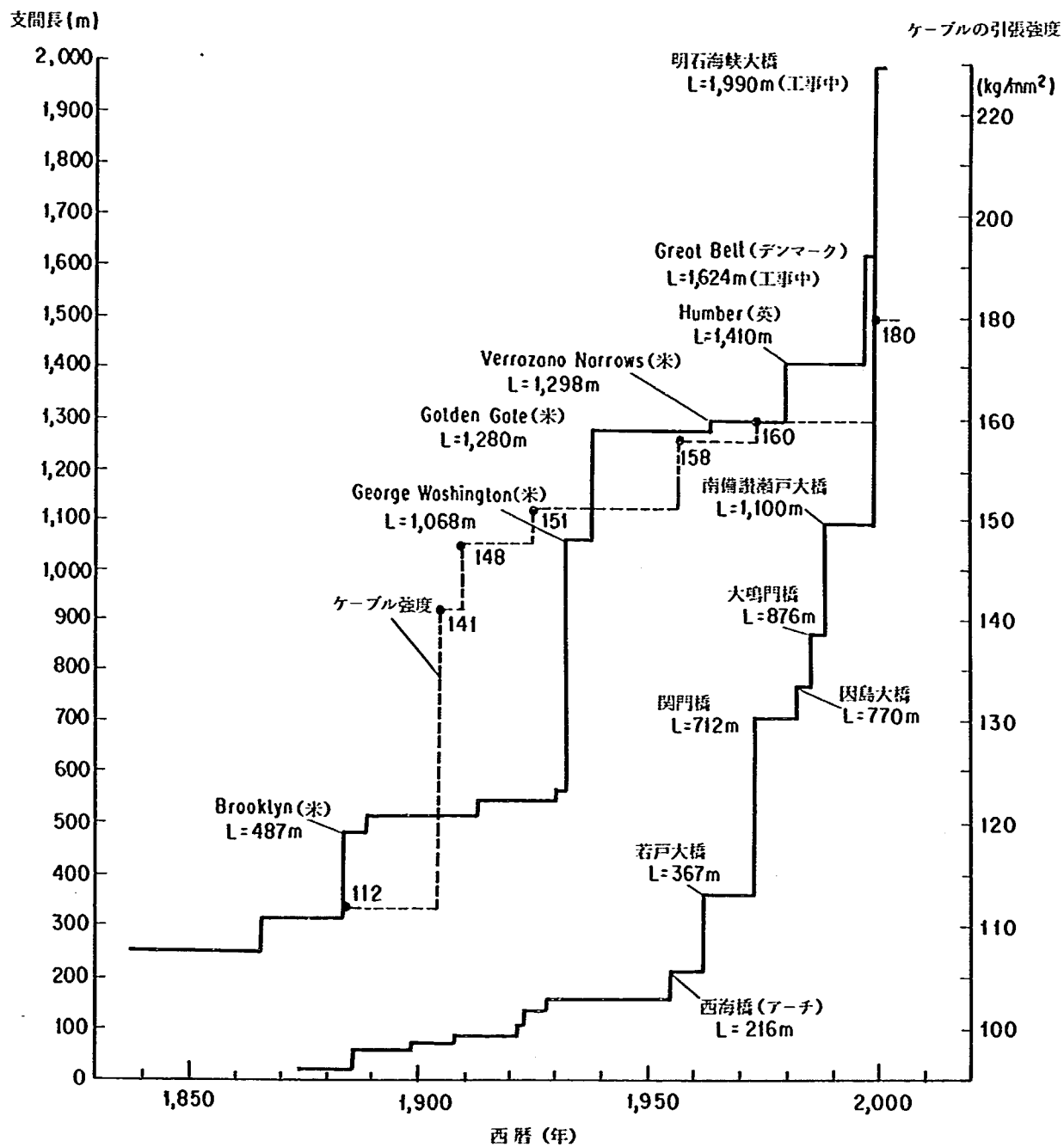
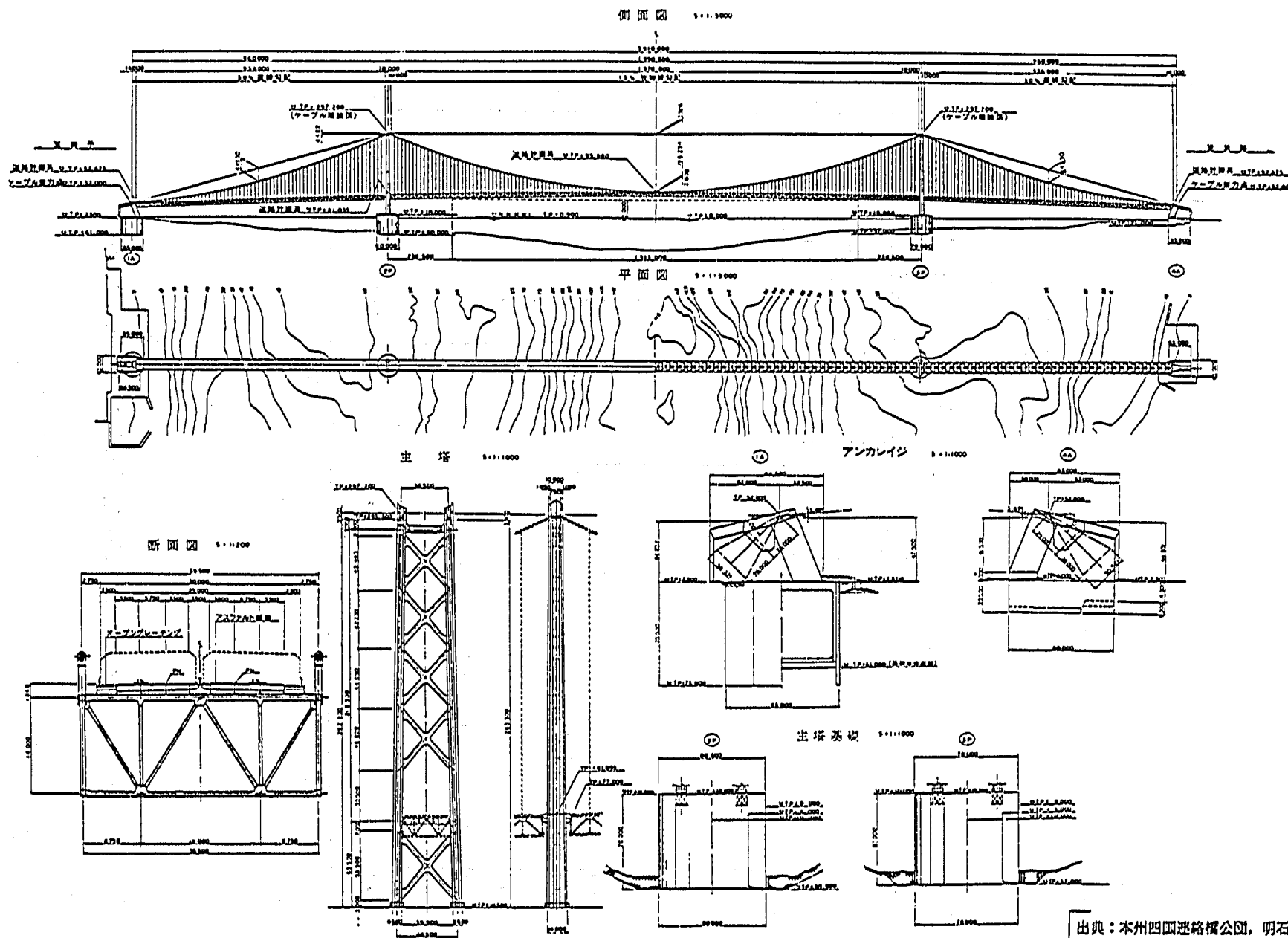


図-1 ケーブルの高強度化と吊橋スパンの長大化の歴史



出典：本州四国連絡橋公団，明石海峡大橋の技術

図-2 明石海峡大橋

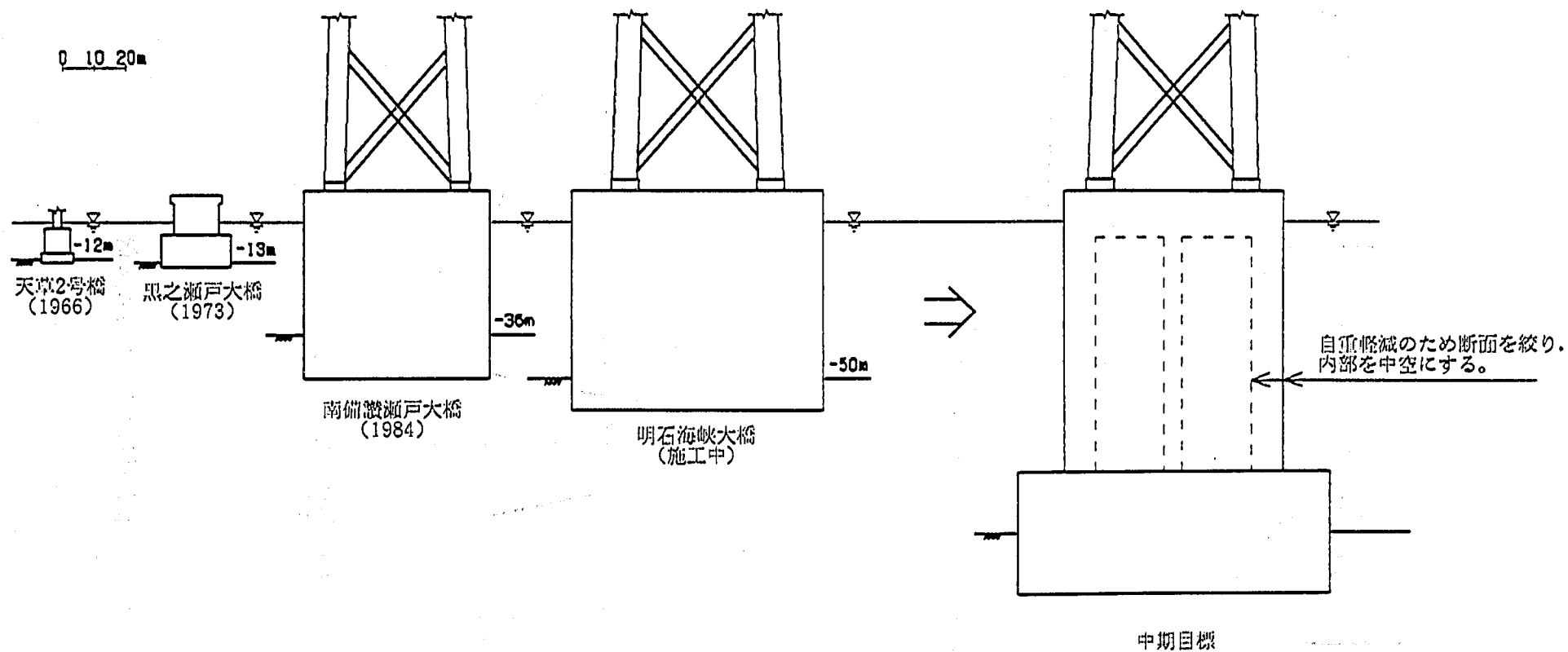
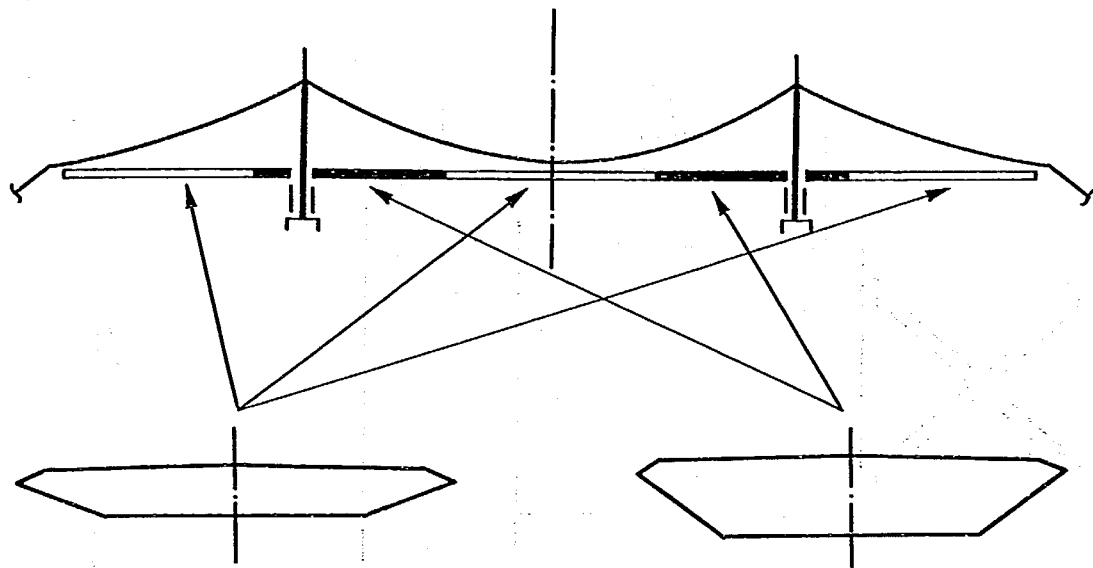
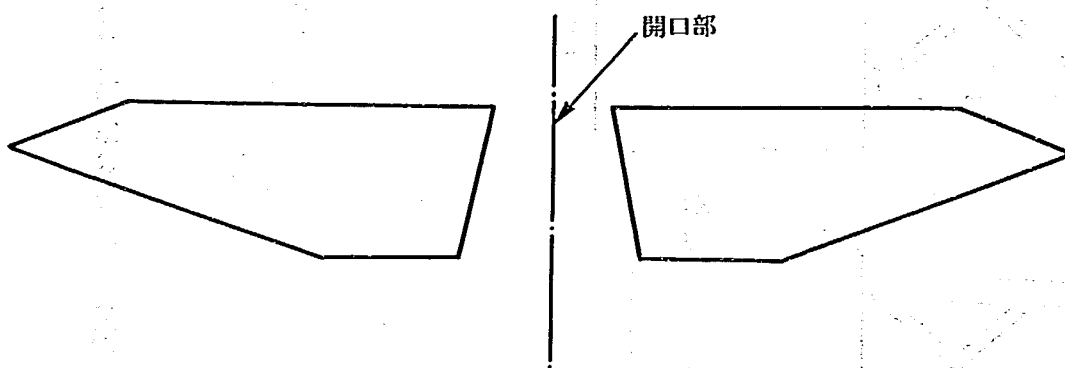


図-3 既往基礎形式の拡張による大水深への対応のイメージ（設置ケーソンの場合）

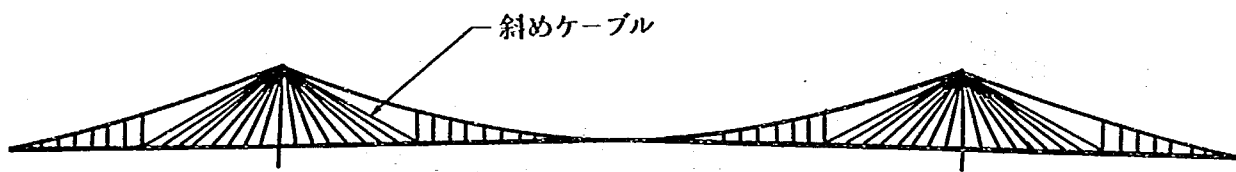


変断面桁 薄い箱桁で空気力学的特性を高め
厚い箱桁でねじれ剛性を高める

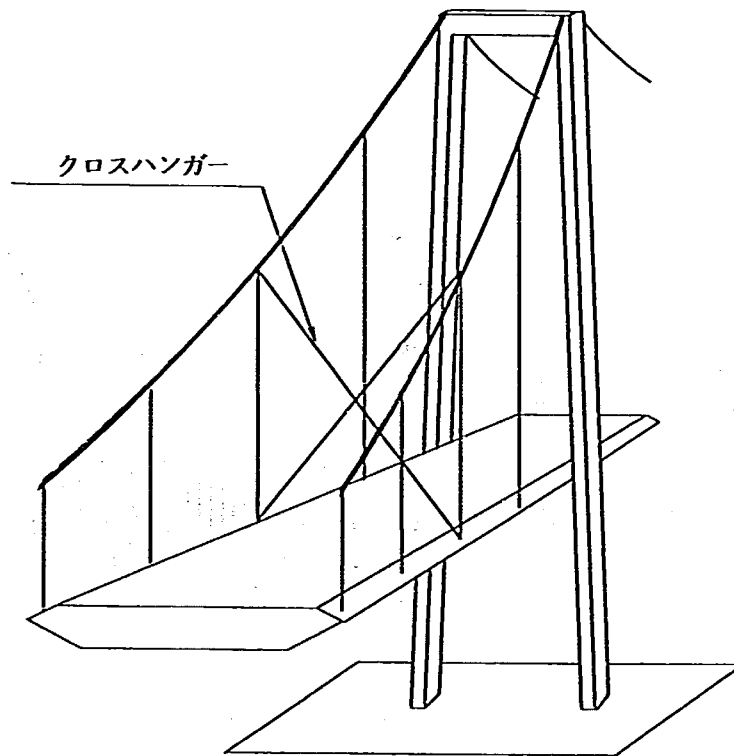


2箱桁 中央に開口部を設け
空気力学的特性を高める

図-4 耐風性に優れた桁断面の例



斜めケーブル併用形式



クロスハンガー形式

図-5 吊橋の剛性を高めるケーブルシステムの例

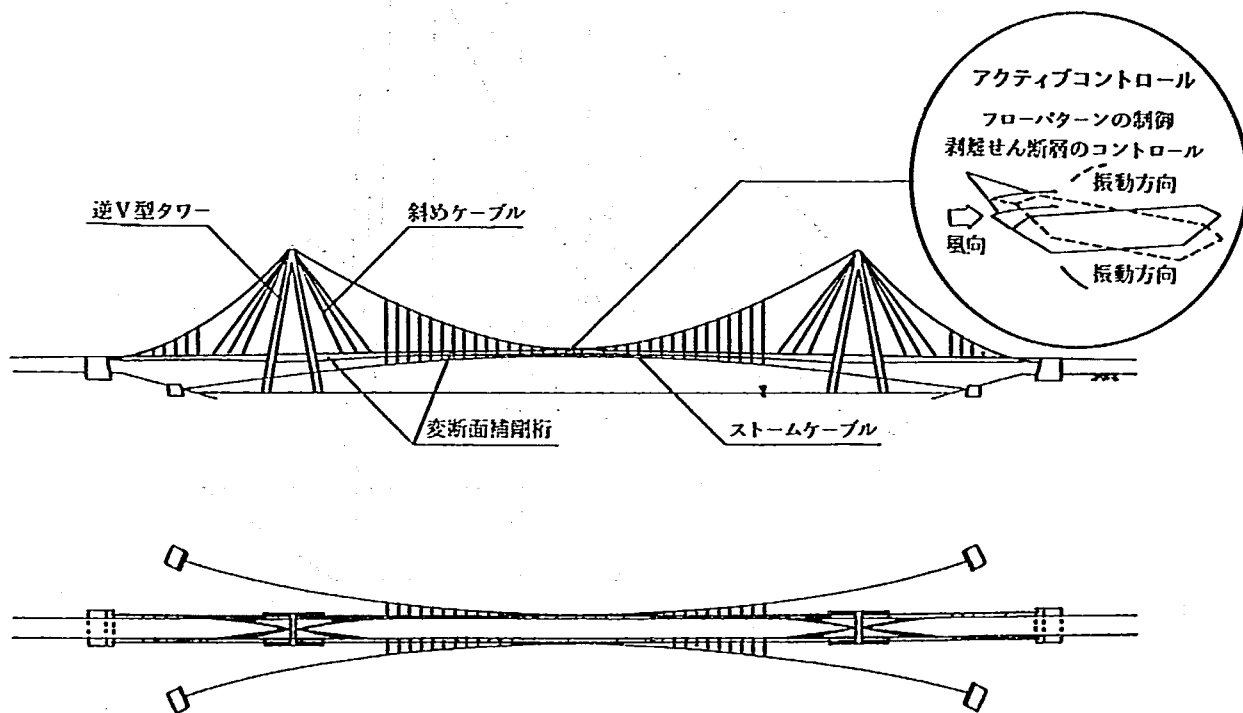
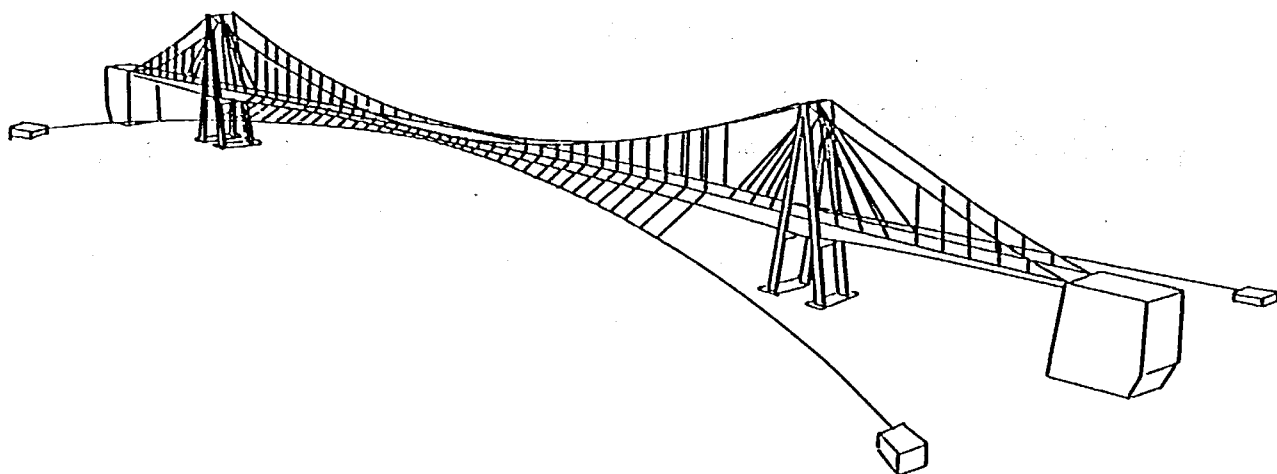


図-6 新形式吊橋の例

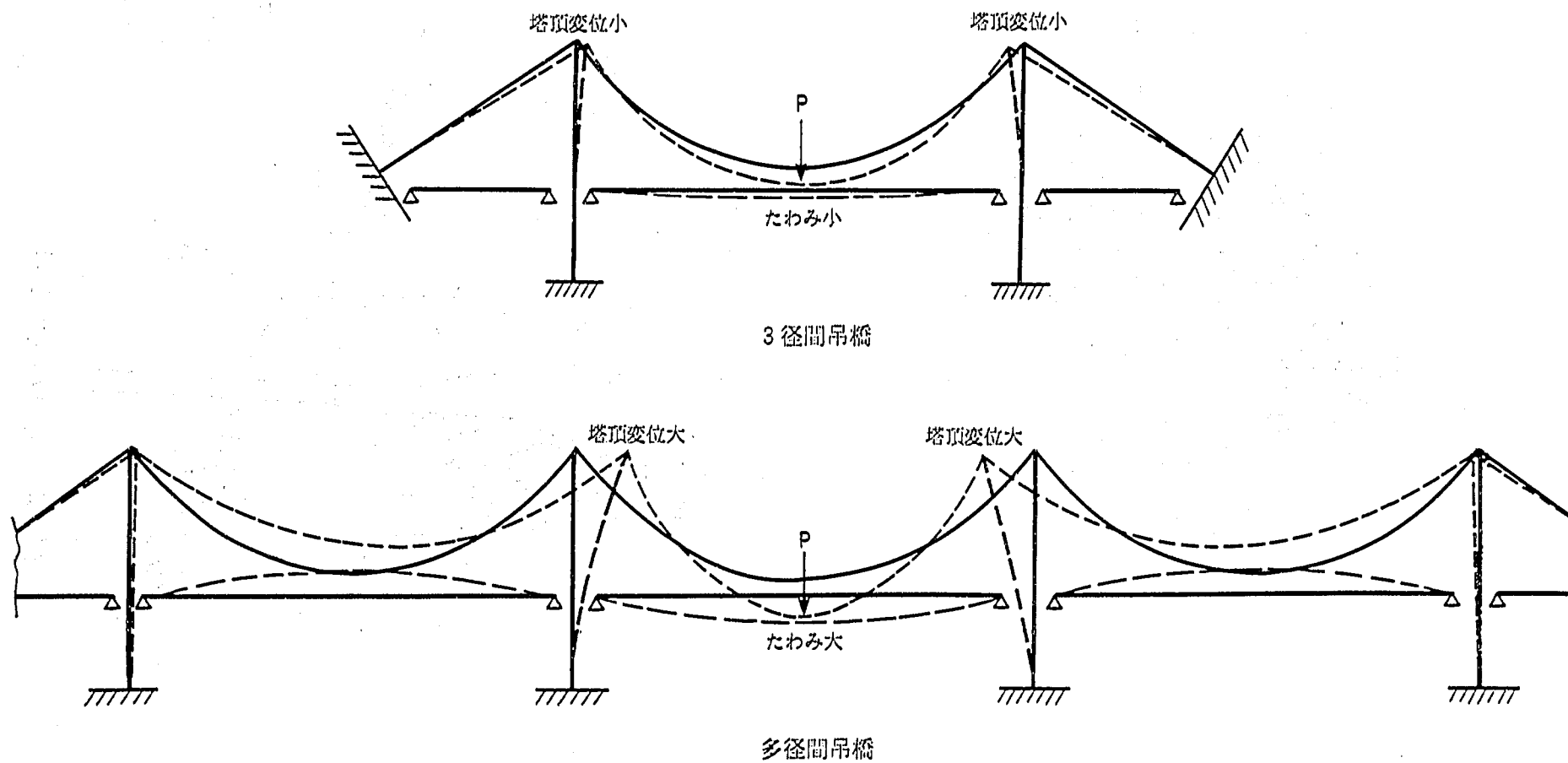


図-7 3 径間吊橋と比較した場合の多径間吊橋の特徴

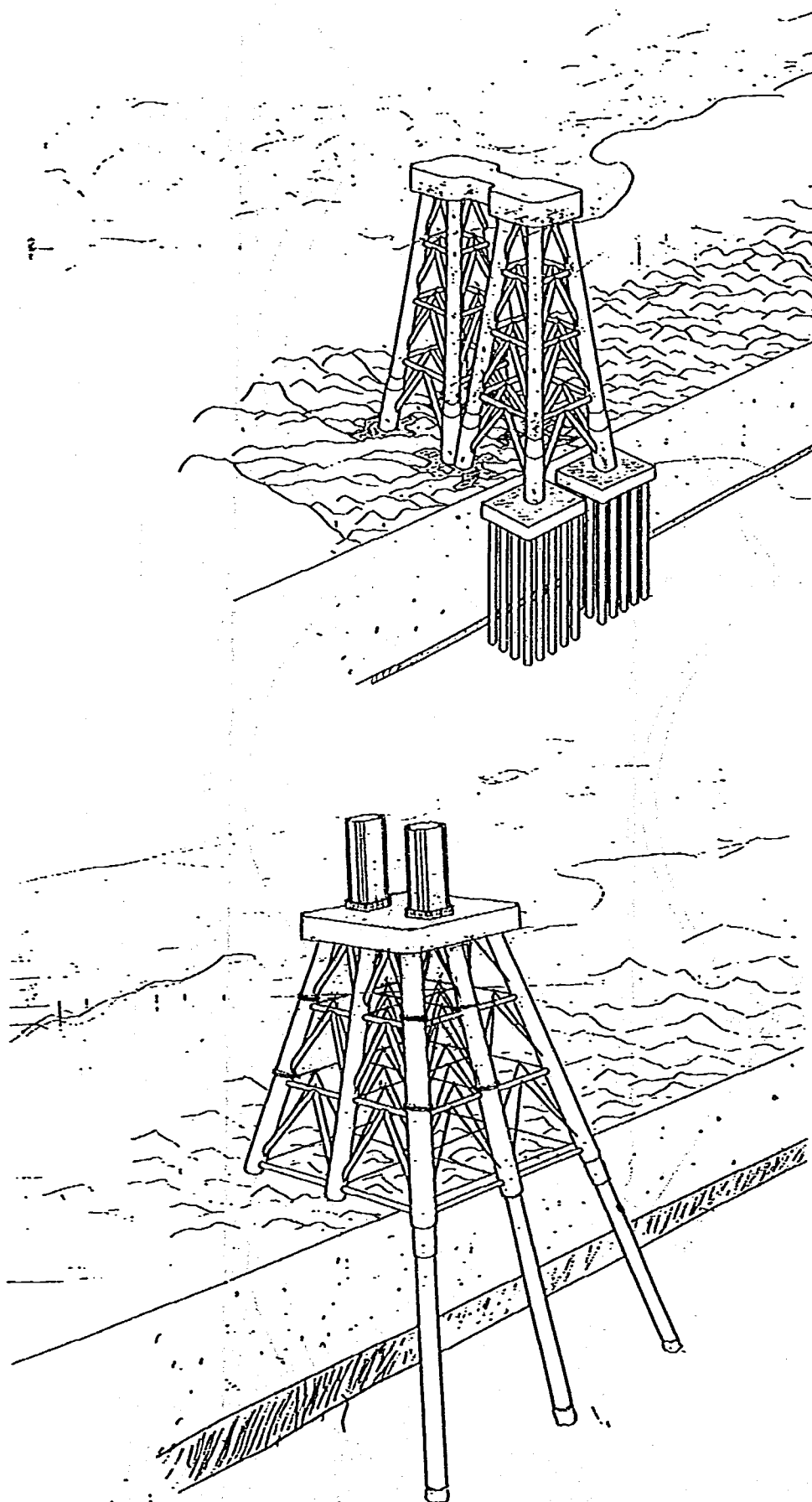


図-8 新形式基礎の例

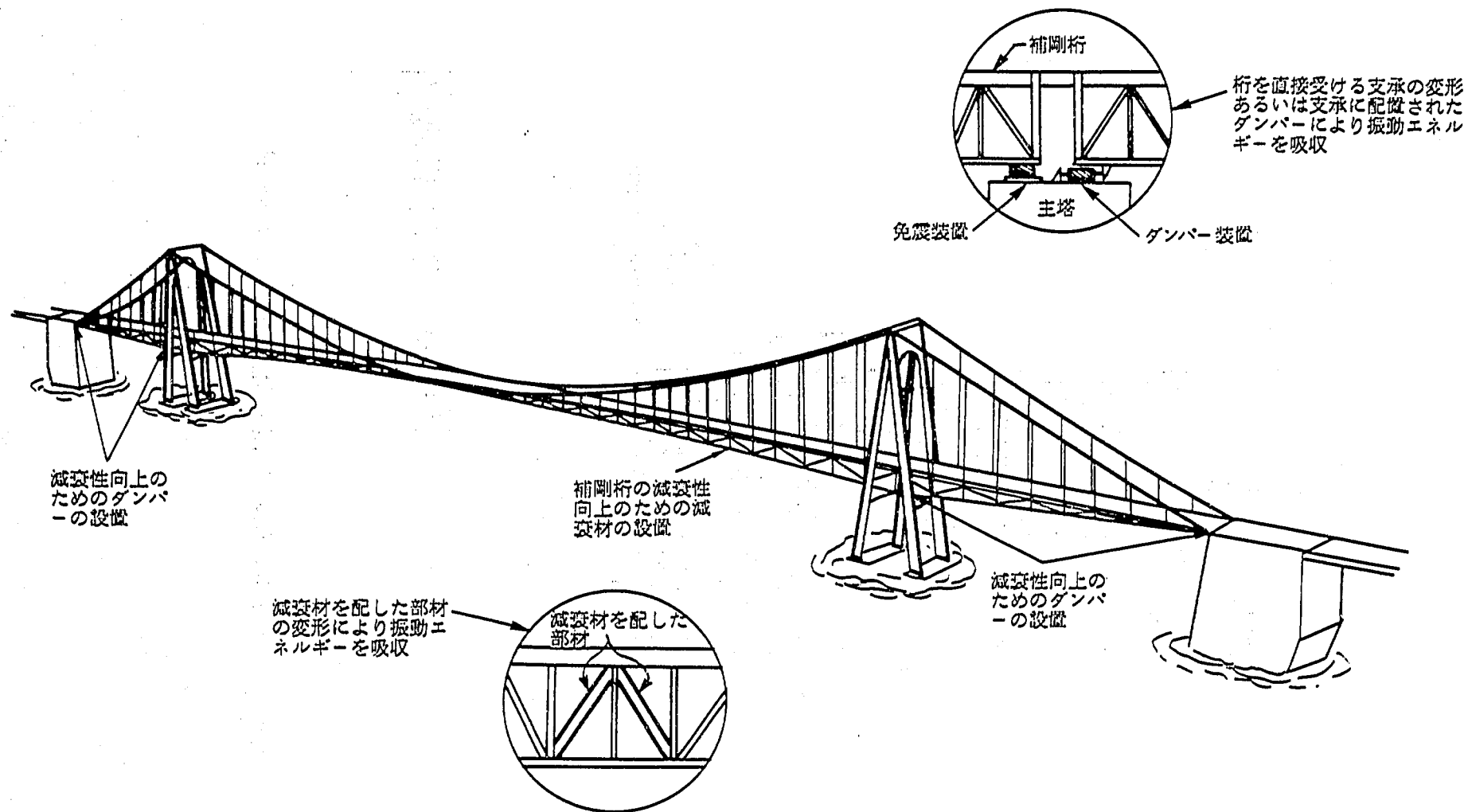
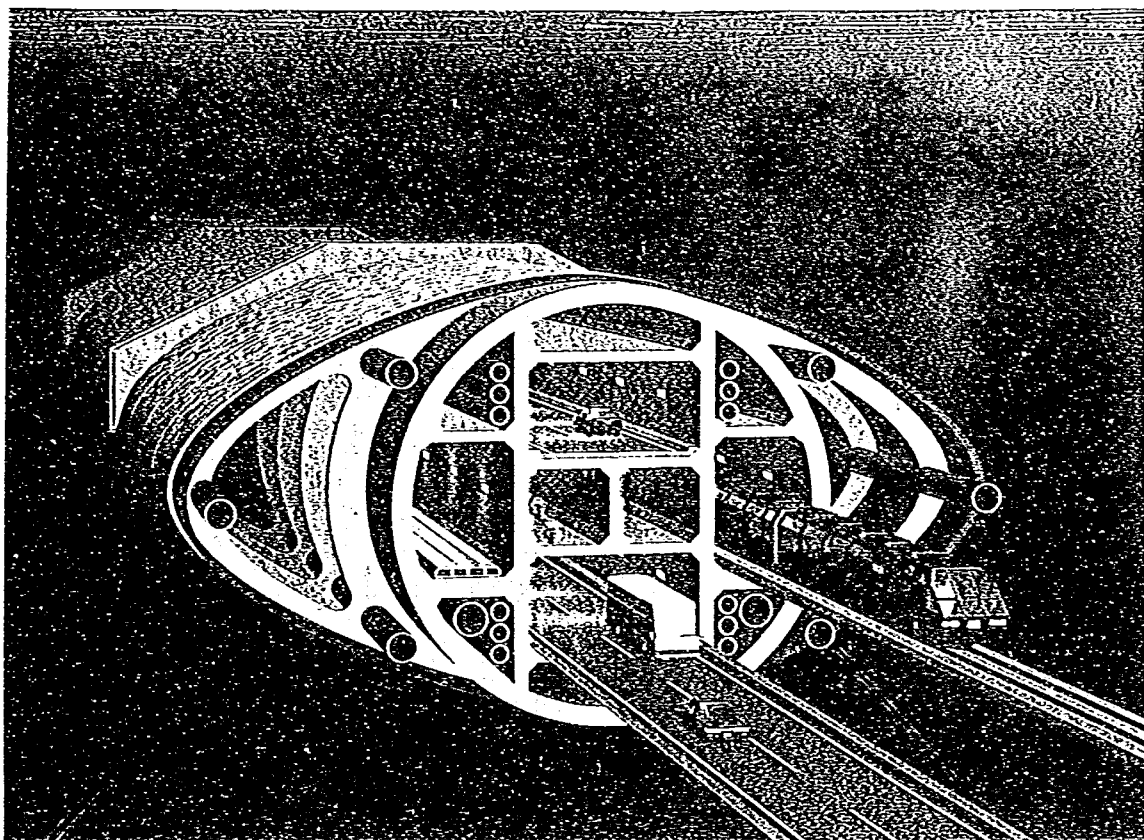


図-9 減衰性向上のための制震技術のイメージ



〔出典：鋼水中トンネル研究調査会，海峡横断プロジェクト〕

図-11 水中トンネルの例

海峡横断道路プロジェクト技術
調査委員会報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3205号
平成5年8月(1993)

構造橋梁部 部長 藤原 稔
構造橋梁部 構造研究室長 佐藤 弘史
企画部 橋梁計画官 谷口 信彦

要 旨

本資料は、全国各地の海峡横断道路プロジェクト構想で想定される大規模構造物(超長大橋梁、長大海底道路トンネル)に関する調査を効率的に進めるため、建設省が設置した「海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会」の委員会報告書である。
委員会において行われた主な調査の概要は、以下のとおりである。
① 海峡横断道路プロジェクトで想定される各種構造物について、既往の大規模構造物の実績調査を行い、現在の技術水準を整理した。
② また、中央径間が2,500mの吊橋等、既往の実績を大幅に超える構造物について試設計を行い、設計・施工上の技術的課題を抽出した。
③ そして、これら実績調査や試設計の結果と、プロジェクトが構想されている海峡部の自然条件等を勘案して、今後解決すべき技術的課題とその調査方針についてとりまとめた。
なお、委員会には、土木研究所から地下開発研究官、橋梁計画官、トンネル計画官、道路交通総括研究官および地質、道路、新交通、トンネル、基礎、構造、橋梁、振動、耐震研究室の各室長が幹事として参画した。

キーワード: 「海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会」、海峡横断道路プロジェクト、超長大橋梁、長大海底道路トンネル、実績調査、試設計、自然条件、技術的可能性、技術的課題、調査方針

郵便はがき

四十一回切
下手は
さい。

305-□□

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室
行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 95

No. 95

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第 3205 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印