

I-1 白鳥大橋の調査設計

道開発局 室蘭開建 正員 笠井 謙一
戸島 英二
大橋 猛
高松 泰

1. はじめに

「白鳥大橋」は、室蘭の半島部先端(室蘭市祝津町)と対岸(同陣屋町)を結ぶ湾口連絡橋である。

(図-1)

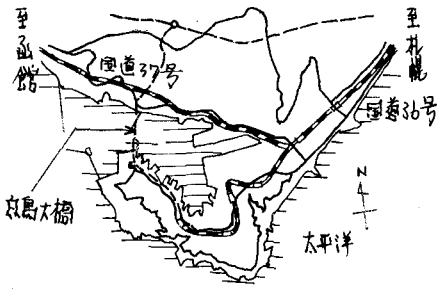


図-1 位置図

本橋の調査・計画に際しては、昭和55年度より土木学会北海道支部に「白鳥大橋技術調査委員会」(委員長:能町純雄北大教授)を設置して審議を重ねてきた。その結果、橋梁型式としては中央支間720mを有する吊橋に決定され具体的な調査・設計が進められている。本報告は、この調査・設計に関する事項について中間的に報告するものである。

2. 現地観測

長大吊橋としての設計条件・施工条件を決定するため、種々の現地観測を行なっている。調査項目は、

- ① 地質調査 → 支持地盤の確認、土質定数
- ② 気象調査 → 耐風設計
- ③ 地震調査 → 耐震設計
- ④ 着雪調査 → 耐風設計等
- ⑤ 塗装試験 → 塗装系の決定

等である。

1) 気象調査

耐風設計に必要な、設計風速等を決定するため、架橋地点(祝津側)に気象観測用鉄塔(地上60m)を設

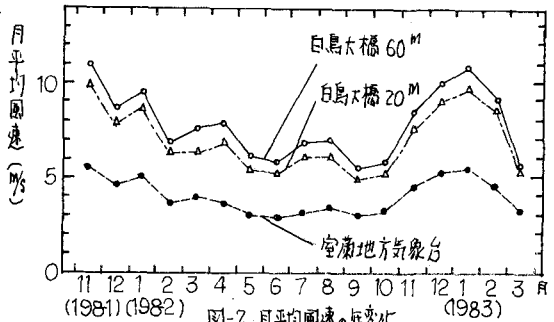


図-2 月平均風速の年変化 (1981)(1982) (1983)

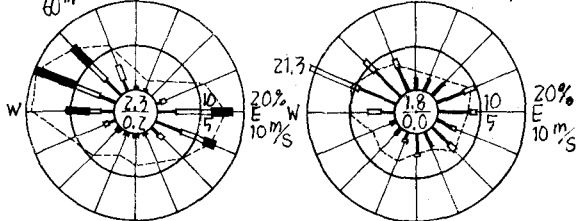


図-3 年風向風速図の比較
破線は風向平均風速 S
中心の円内の数字は、上段が静穏(風速0.2 m/s以下)出現百分率、下段が欠測百分率

置し、風観測を行なっている。測器の配置は、

- 地上 20m → 風車型風速計
- 地上 60m → 風車型風速計、超音波風速計

である。現在までの観測結果を図-2、図-3に示す

2) 地震計設置

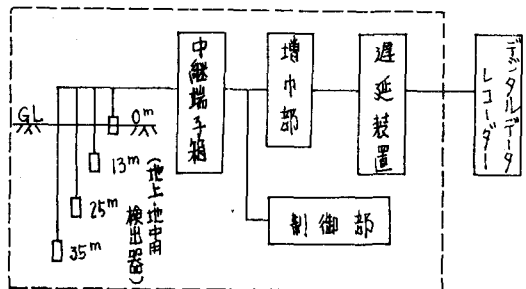


図-4 地震計システム構成図 (ATE-306)

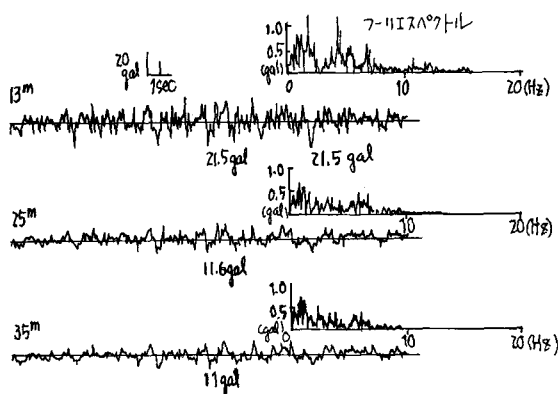


図-5 日本海中部地震観測波形

耐震設計に必要な、設計加速度・応答スペクトル曲線を決定するため、現地に地中地震計を設置して観測している。地震計システムを図-4に示した。また、58年5月26日の日本海中部地震の地震波を記録できたのでこれを図-5に示した。

3) 着雪調査

白鳥大橋は積雪寒冷地の吊橋であるため、特に補剛桁に対する積雪・着雪が耐風安定性に及ぼす影響の有無が重要である。補剛桁の積雪・着雪現象を把握するため昭和57年度より架橋地点近くに縮尺 $\frac{1}{2}$ の模型を設置し観測している。

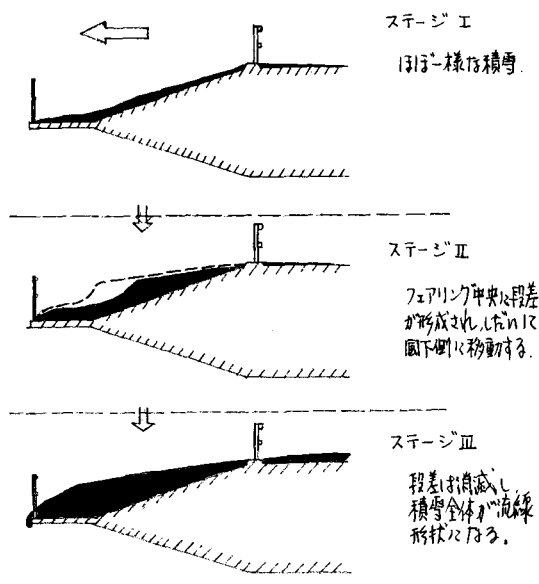


図-6 フェアリングにおける積雪形態の時間変化

昭和58年は、比較的少雪であつたが合計で5回着雪を観測することができた。その結果、以下のことがわかった。

- ① 橋軸直角方向からの風の場合、風速が弱いと橋梁全体にわたって一様に積雪するが、風速5~6m/s以上になると降雪のかなりの部分が風下側のフェアリング、スプリッターに片寄る。着雪形態の時間的変化の過程は図-6に示した。
- ② 橋軸直角方向の風により着雪がステージⅡまで発達した状態で、突然風向が変わり正反対の方向から再度風が吹いた場合、耐風安定性に悪影響を及ぼすおそれがある。
(室蘭での積雪は移動性低気圧により発生するパターンが多いことから充分考えられる。
- ③ 高橋への着雪は降雪片が湿っている場合に大きな成長・発達をみせ図-7に示すような閉塞状態がみられる。みぞれのような含水率の高い場合は一度着雪しても時間とともにずり落ちしまう。
- ④ 地震・路面上は吹き払いとなり、積雪の形成されない場合が多い。
- ⑤ 気温がマイナスであるにもかかわらず日射があると橋梁上の積雪が急速に融解する現象がみられる。

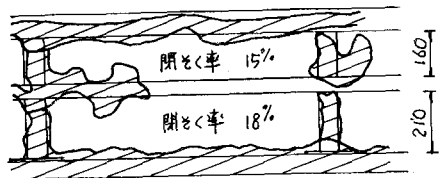


図-7 高欄における積雪状況

この他に、海外の積雪寒冷地にかかる吊橋・斜張橋について、着雪等に関する照会を行ない問題点の有無を調査した。調査対象橋梁を表-1に示す。調査の結果、各橋とも着雪による振動の問題はないことがわかった。

3. 地質調査

海上部地質調査は昭和53年度より行なっており現在までに計27本のボーリングを行なった。地質断面図を図-7に示す。地質断面図を見ると次のことがわかる。

表 1 海外積雪寒冷地の長大橋梁着雪調査 (調査対象橋梁概要)

No	国名	橋 名	型 式	完成年	支 間 割	平均気温 (°C)				平均風速 (m/sec)				降雪量 (cm)			
						12月	1月	2月	3月	12月	1月	2月	3月	12月	1月	2月	3月
1	加	Papineau-Leblanc橋	斜張橋	1969	90+241+90	-6.8	-10.1	-8.9	-2.5	4.7	5.1	5.0	5.0	59.5	53.5	54.1	36.3
2	・	New Quebec 橋 (Pierre-Laporte)	吊 橋 トラス	1968	187+668+187	-9.0	-12.0	-10.8	-4.5	5.0	5.3	5.3	5.0	86.5	78.1	70.7	54.7
3	・	Long's Creek 橋	斜張橋	1967	57.8+217.5+57.8	-6.5	-9.2	-8.4	-2.4	4.0	4.1	4.1	4.5	69.3	63.9	63.2	48.7
4	米	Sitka Harbor 橋	斜張橋	1971	303.8+45.6+137 +45.6+38	-	-	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	・	New Port 橋	吊 橋 トラス	1969	210+480+210	0.2	-1.3	-1.5	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-
6	・	Mackinac 橋	吊 橋 トラス	1957	549+1158+549	-1.0	-11.2	-7.8	-4.5	4.7	5.0	3.9	4.4	-	-	-	-
		白鳥大橋	吊 橋		330+720+330	0.5	-2.4	-2.3	0.4	4.5	5.0	4.1	3.8	23	41	36	25

※ - で記入したデータは未収集である

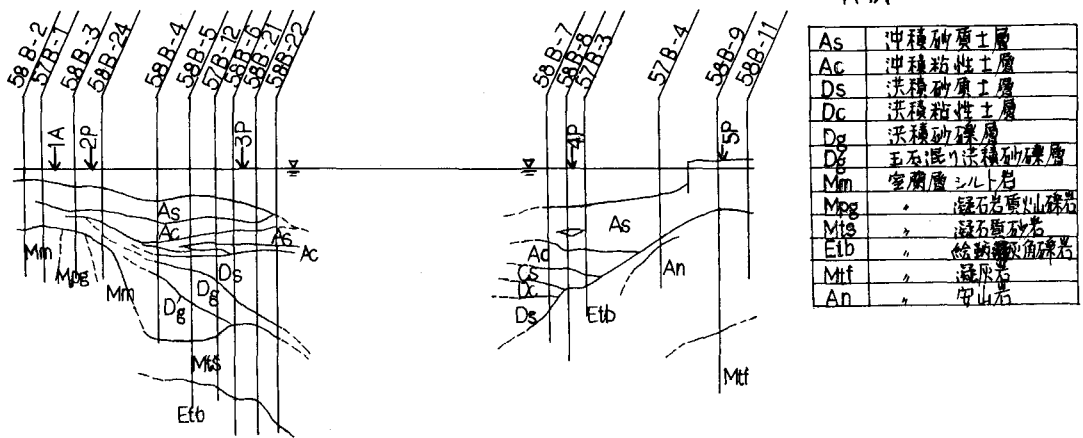


図-7 地質断面図

- ① 主塔基礎の支持層として考えられるのが3Pでは Mts, 4Pでは Etb であり非常に深い基礎が必要である。
- ② 3P付近では玉石層 (Dg') が分布する。

4. 設計基本条件

前述の調査結果を基にして、橋梁の設計条件を決定とすることが重要となる。以下、特に耐風・耐震にかかわる設計条件について述べる。

1) 耐震設計

白鳥大橋架橋予定位置から約1km離れた箇所に開発局室蘭港湾建設事務所のSMAC-B2型強震計(室蘭-S)が設置されており、観測データが運輸省港湾技術研から公表されている。本橋の耐震設計を進める上でこの室蘭-Sの記録波は重要な資料であり、基本的には室蘭-Sの記録を用いて独自の設計加速度・応答ス

表-2 室蘭S 観測値

震源域	年月日	深さ (km)	M	震央距離	水平最大加速度
十勝沖 (本震)	1968.5.16	0	7.9	284	204.6
(余震)	1968.5.16	40	7.5	183	95.0
花尾付近	1970.1.21	50	6.7	176	34.0
浦河沖	1971.8.02	60	7.0	259	38.0
根室半島沖	1973.6.17	40	7.4	415	24.0
苫山牧沖	1974.11.09	130	6.5	69	46.0
浦河沖	1975.10.30	40	6.0	162	24.0
日高支庁 面影	1981.1.23	130	7.1	102	155.3
浦河沖	1982.3.21	40	7.1	137	163.6

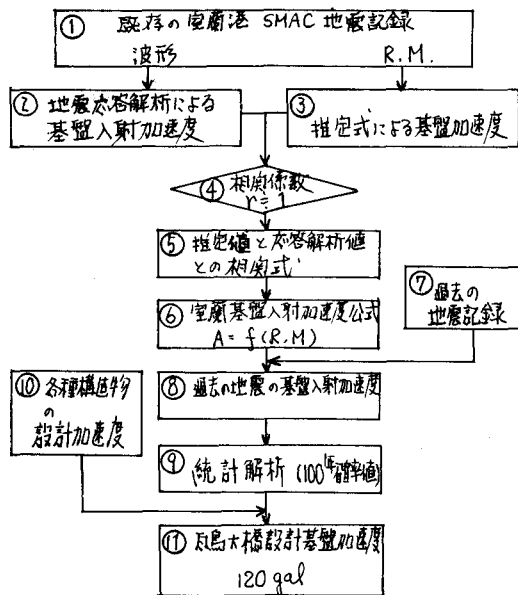


図-8 設計加速度決定のフロー

ペフトルを決定するものとする。(図-8)

室蘭-Sで観測された主な地震諸元を表-2に示す。室蘭-Sの観測地震波としては表-2に示した9地震により応答計算から基盤入射加速度を求め種々の推定式を検証した。この結果金井式が最も良く相関することから、金井式と相関式を連立させ室蘭公式を作成した。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{金井式} \\ \log v_0 = 0.61M - (1.66 + \frac{3.6}{R}) \log R - (0.637 + \frac{1.83}{R}) \end{array} \right. \quad \text{--- (1)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{相関式} \\ A = 31.3 V_0^{1.22} \end{array} \right. \quad \text{--- (2)}$$

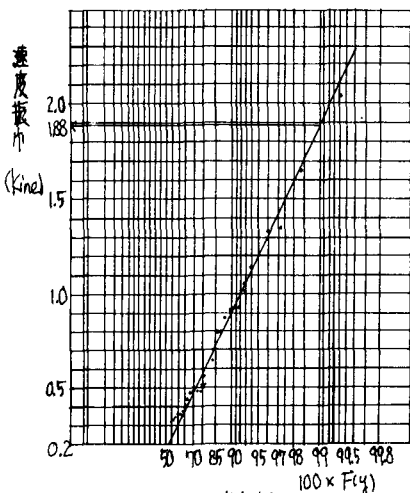


図-9 期待値分析

(1)と(2)より
室蘭公式

$$A = 10^{0.744M - (\frac{4.39}{R} + 2.03) \log R - (\frac{2.23}{R} - 0.725)} \quad \text{--- (3)}$$

室蘭公式を用いて、過去の地震記録(明治以降を使用)の期待値分析を行った結果を図-9に示す。

再現期間

R: 再現期間

T: 耐用年数

q: 非超過確率

$$R = \frac{1}{1 - q^T} \quad \text{--- (4)}$$

において、T=50年、q=0.6に相当するR=100年とした。この結果 $V_0 = 1.88$ (Kin) が得られ、基盤入射加速度 68gal、基盤加速度 102gal となるが、他の長大橋等における設計値とも比較し、設計基盤加速度は 120gal とした。

なお白鳥大橋地中地震計にて1983年5月26日の日本海中部地震を観測したことは前述したが、この結果を用いて耐震設計条件を検証したところ、

① 地盤応答解析の妥当性

② 室蘭公式の妥当性

③ 基盤入射波の同一性(室蘭Sと地中地震計)

のいづれについてもほぼ良好な計算結果が得られた。

また、設計応答スペクトルは現在作成中であるが

① 十勝沖(1968)

② 日高西部(1981)

③ 浦河沖(1982)

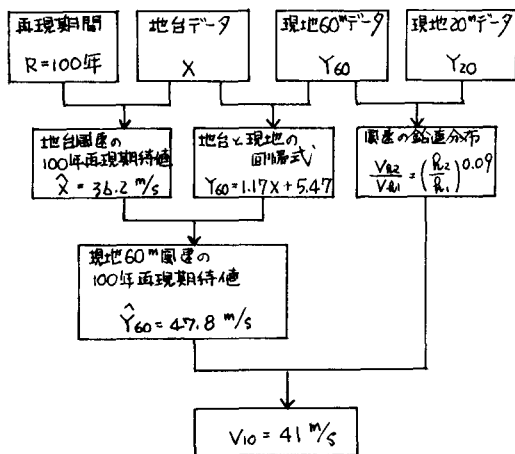


図-10 V_{10} 算出のフロー

の3波を用いて計算することとしている。

2) 耐風設計

耐風設計の設計条件として最も重要な項目は設計基本風速であるが、白鳥大橋気象観測用鉄塔では、1981年11月からのデータしかないため、室蘭地方気象台（以下地台という）のデータを用いて図-10に示す方法にて決定した。

室蘭地台と現地の風速の回帰は次のように行なった。

① 架橋地点地上60^m位置のデータと室蘭地台との回帰を行なった。これは、地上60^mの高さが橋剛桁と同じ高さであることから、得られぬ値を直接設計に用いることができるためである。

② 地台データとの回帰は「日最大風速」により行なった。これは次の理由によつたためである。

- 月最大風速では地台、現地で起つた日が約半数しか一致せず同一気象条件による回帰とは言えなくなる。
- 月最大のデータは季節変動があり互いに独立とは言えない。
- 日最大のデータ数が多く。
- 日最大の現地も地台もで同一気象条件による対比が可能である。

③ 日最大のデータは低風速のデータが多く、回帰式が低風速時のデータで決まってしまうことの問題を解消するため、回帰は地台風速10%以上のデータを用いた。

以上より回帰式、(5)式が得られた。

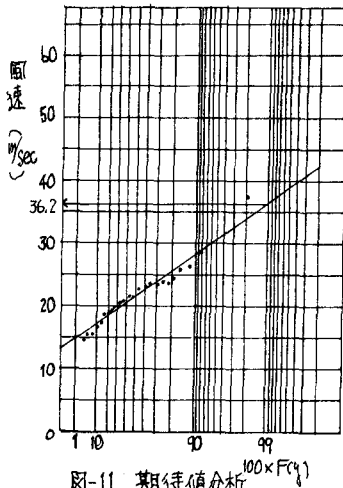


図-11 期待値分析

$$Y_{60} = 1.17 X + 5.47 \quad \text{----- (5)}$$

ここで Y_{60} : 現地60^m地点日最大風速

X : 地台日最大風速

再現期待値の算出は室蘭地台のデータを用いた。

再現期間は(4)式により $T=50$ 年、 $q=0.6$ に相当する $R=100$ 年とした。解析結果を図-11に示す。

図-11より地台データ-100年再現期待値として36.2^mが得られた。 $X=36.2$ を(5)式に代入すると、

$Y_{60} = 47.8$ ^mが求まる

一方、風の鉛直分布は Y_{60} と Y_{20} のデータより

$$\left(\frac{V_{R2}}{V_{R1}} \right) = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{0.09} \quad \text{----- (6)}$$

が得られた。ここで

h_1, h_2 : 高さ

V_{R1}, V_{R2} : h_1, h_2 の高さにおける風速

5. 吊橋の基本諸元

1) 支間割

支間割は、防波堤・岸壁・地質条件・航路条件等に配慮して決定するものとした。本橋では特に地質条件が複雑であり岸壁側主塔(3P)付近に分布する玉石層(Dg')は施工性の問題から避けるものとした。

これらのことから支間割として次の5案を選ば比較検討した。

表-3 支間割比較

案	支 間 割	工 事 費 (比率)
オ1案	320 + 650 + 320	1.03
オ2案	340 + 680 + 340	1.02
オ3案	330 + 720 + 330	1.00
オ4案	360 + 720 + 360	1.00
オ5案	330 + 750 + 330	1.00

検討の結果、オ3案を選取したが主たる理由は次の通りである。

① 工事費が少い。しかし他案との差は2%~3%であり決定的要因とはならない。

② 主塔基礎4Pが比較的浅く、かつ、支持層が平坦な位置となる。

③ 側径間比が小さく、タワー応力が軽減される。選取案の一般図を図-12に示す。吊橋としての概略諸元は以下のようになる。

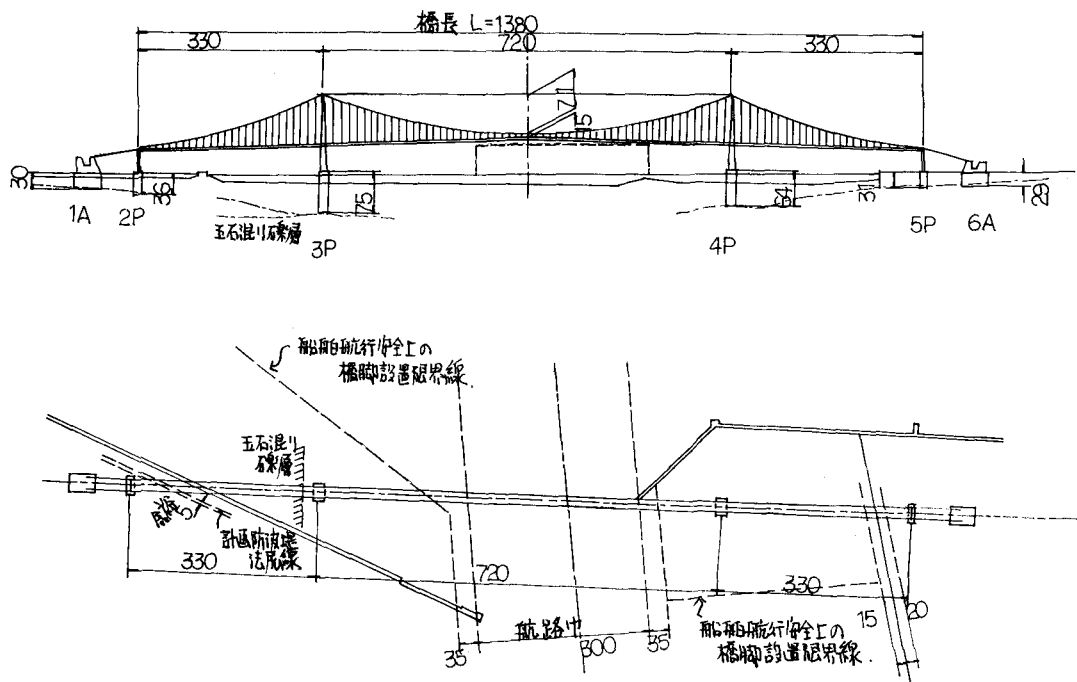


図-12 白鳥大橋一般図

型式： 3径間2ヒンジ補剛吊橋

支間割：(ケーブル) 80+330+720+330+80

(補剛桁) 324+713+324

側径間比： 0.45

2) 補剛桁

白鳥大橋は道路単独橋であり、また既存道路との取付に制約があるため、桁高の低い箱桁を補剛桁とするのが有利である。このため図-13に示す補剛桁基本断面を選定したが、今後風洞実験を行ない耐風安定性の検討を進める予定である。

3) 基礎工

本橋主塔基礎深度はTP-60~70と非常に深く世界有数の橋梁基礎となる。このため基礎型式の選定、耐震設計法の決定等困難な問題は多いが今後検討していく予定である。

6. あとがき

以上、白鳥大橋の設計調査について現在までの検討内容を総括的に述べる。今後のスケジュールとしては、昭和60年度に取付部の着工をめざしている。

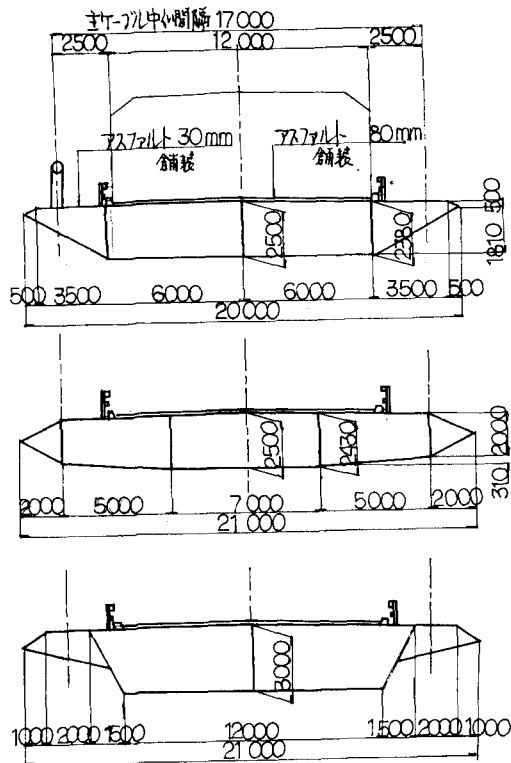


図-13 国道実験用補剛桁断面