

長大トラス橋の建設とこれまでの取り組み



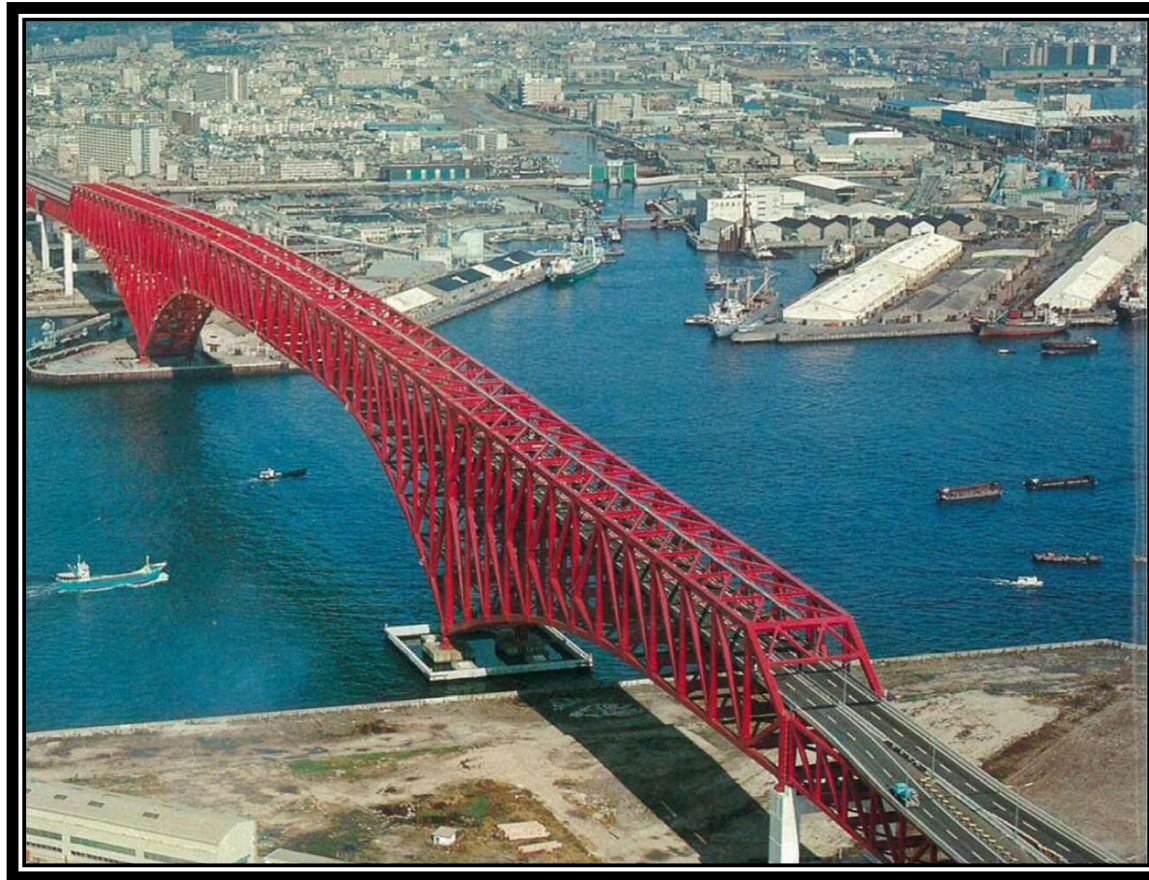
阪神高速道路株式会社

技術部 技術開発担当部長 桐間幸啓

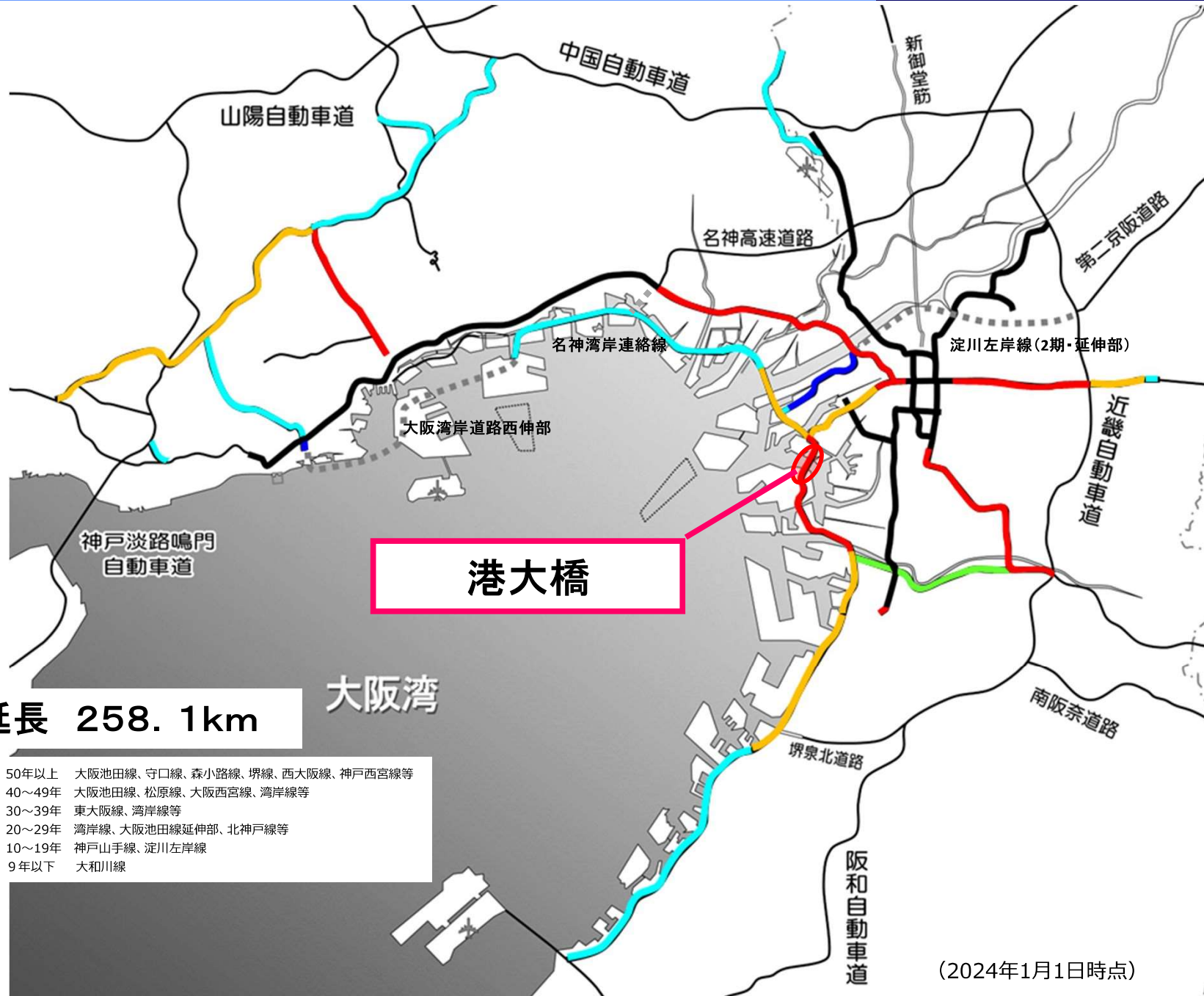
目 次

- 港大橋の建設
- 構造再生(地震対策)
- 維持管理
- 座談会(50周年記念行事)
- 受賞履歴

港大橋の建設



港大橋について



港大橋について

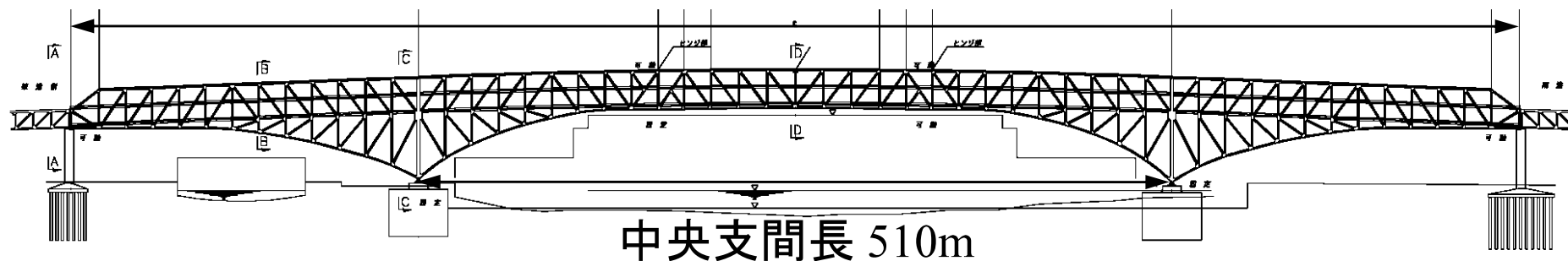


■ 橋梁諸元等

形式	ゲルバートラス橋
全長・幅員	980 m・19.3m
重量	約45,000 ton
完成年度	1974年7月15日
路線	上層：16号大阪港線 4号湾岸線 下層：5号湾岸線
日交通量	10.3万台（2022年度平日平均）



全長 980m





代表的なゲルバー・トラス橋

世界第1位
ケベック橋（カナダ）

中央径間長 549 m

1900年頃着工

1919年完成

鉄道（単線）

車道（3車線）

世界第2位
フォース橋（イギリス）

中央径間長 521 m

1882年着工

1890年完成

鉄道（複線）

世界第3位
港大橋（日本）

中央径間長 510 m

1970年着工

1974年完成

車道（8車線）





■ 経緯

- | | |
|-----------|--|
| 1970.3.30 | 都市計画決定(1.2.9 大阪湾岸線) |
| 1970.5.16 | 南港連絡橋建設部発足(庶務課、調査設計課、工事課) |
| 1970.6.1 | 路線認定(高速道路大阪湾岸線)
自動車専用道路の指定(高速道路大阪湾岸線)
基本計画の指示(大阪市道高速道路大阪湾岸線) |
| 1970.6.28 | 工事開始公告 |
| 1970.7.15 | 起工式 |
| 1974.6.13 | 工事完了公告 |
| 1974.7.15 | 港大橋供用開始 |

(参考) 日本万国博覧会 1970.3.15～9.13

事業の背景



内国貿易		外国貿易		計	単位: t
移入	移出	輸入	輸出	合計	
6 571 591	2 665 131	2 697 232	869 495	12 764 420	
7 032 830	2 914 385	2 972 770	630 631	13 770 826	
7 297 336	3 316 928	3 075 403	944 097	14 633 764	
6 877 374	3 266 252	3 205 383	1 006 228	14 355 237	
6 981 237	3 296 371	2 805 749	882 293	13 915 650	
7 029 973	3 272 834	3 202 434	845 059	14 349 140	
8 272 976	3 389 066	3 056 568	1 111 362	16 069 922	
10 290 109	4 220 886	3 934 762	1 318 638	19 764 395	
12 066 978	4 707 866	4 096 821	1 545 964	22 417 524	
13 436 455	5 158 721	4 738 581	1 714 408	25 048 225	
15 382 200	5 906 834	4 883 911	1 902 312	28 075 257	
16 519 419	6 912 843	5 422 743	2 020 032	30 875 037	
17 486 261	6 485 392	5 484 477	2 184 519	29 642 649	
17 959 177	6 676 316	5 970 532	2 553 707	31 260 232	
19 806 147	7 264 684	6 550 193	1 515 428	30 136 452	
21 685 222	8 016 409	不詳	不詳	29 701 431	
16 186 401	6 574 130	"	"	22 760 431	
14 331 132	4 940 021	"	"	19 271 153	
9 865 428	3 693 376	"	"	13 558 804	
3 125 373	929 133	"	"	4 054 511	
1 118 379	121 916	"	"	1 240 295	
2 660 690	712 638	"	"	3 373 328	
4 268 169	929 693	196 558	111 270	5 485 680	
4 954 843	1 054 444	503 051	245 439	6 758 777	
3 758 486	1 272 240	962 226	395 118	6 388 070	
5 967 702	1 428 672	1 521 673	448 763	9 366 810	
5 582 276	1 330 814	1 670 117	534 768	9 087 975	
6 930 307	2 280 128	2 972 255	510 537	12 693 327	
7 135 974	2 109 219	2 672 542	583 496	12 501 231	
6 821 153	2 306 056	2 874 375	730 808	12 822 392	
7 810 804	2 376 513	3 158 368	755 715	14 101 480	
9 137 510	2 765 852	4 443 971	837 274	16 984 607	
8 580 676	2 637 075	3 530 336	665 888	15 413 975	
11 257 538	3 439 603	4 372 913	602 287	19 732 361	
14 638 696	4 696 280	6 181 837	885 141	26 411 954	
16 755 833	5 497 842	7 766 323	880 205	30 900 203	
18 208 099	5 329 656	6 995 792	1 124 765	31 629 312	
18 291 332	5 907 605	8 222 376	1 185 498	33 596 832	
19 640 203	6 323 536	8 553 173	1 618 976	36 106 008	
20 164 907	6 515 040	9 196 058	2 237 214	38 213 229	
21 326 518	7 019 155	9 807 012	2 089 634	40 242 419	
23 470 520	9 577 492	10 543 988	2 048 630	45 640 630	
25 894 007	8 908 267	10 584 990	2 773 971	48 261 235	
27 800 459	9 053 981	10 449 834	3 056 803	50 361 077	
28 784 256	11 002 238	11 432 154	3 340 023	54 526 671	
30 968 324	9 427 608	10 478 074	4 055 661	54 930 667	
33 854 072	13 521 481	10 569 211	3 935 223	61 259 987	

(単位: t)

内国移入 内国移出 外国輸入 外国輸出

大阪港 国内・国外(入・出)

	東 京				横 浜				名 古 屋				大 阪				神 戸			
	入港船舶総トン数	乗降者数	入港船舶総トン数	乗降者数	入港船舶総トン数	乗降者数	入港船舶総トン数	乗降者数	入港船舶総トン数	乗降者数	入港船舶総トン数	乗降者数	入港船舶総トン数	乗降者数	入港船舶総トン数	乗降者数	入港船舶総トン数	乗降者数	入港船舶総トン数	乗降者数
昭和10年	—	6 418 959	—	—	11 958 509	5 987 863	—	—	6 059 327	4 270 546	—	—	10 415 430	15 220 473	—	—	17 668 082	13 648 122	—	—
15	—	5 911 925	—	—	—	5 940 587	—	—	—	3 252 176	—	—	—	18 883 231	—	—	19 985 005	15 890 000	—	—
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11 910	—	1 222 242	529 160	65 000	1 148 000	—
25	458 800	3 249 419	—	350 800	8 824 801	4 443 227	18 900	73 268	4 608 511	2 167 248	138	14 150	2 540 052	7 770 899	—	825 640	8 399 918	8 226 472	2 713	1 203 573
30	3 160 969	5 814 224	2 613	353 449	23 329 221	5 919 582	26 498	93 094	12 881 889	3 907 060	330	21 178	9 614 398	11 318 734	23	1 286 845	21 235 530	11 113 078	18 503	1 324 943
35	6 958 887	11 854 718	(590 696)	—	45 265 645	8 240 477	38 003	146 088	26 588 050	7 428 358	618	15 176	19 119 554	23 913 570	638	1 881 152	40 217 537	19 366 818	36 200	1 834 540
36	8 126 435	12 166 645	1 365	675 141	55 455 023	10 277 444	38 564	176 330	28 877 424	8 818 984	961	14 737	20 942 162	21 150 470	539	2 016 061	44 206 034	19 107 535	47 109	2 077 821
37	7 914 734	12 928 919	—	—	56 714 615	11 147 133	39 322	219 453	31 597 401	10 040 602	610	40 841	21 307 013	23 109 064	1 436	2 185 884	46 501 277	22 935 911	63 782	2 083 842
38	9 696 410	13 512 138	4 977	671 461	56 858 481	14 679 955	42 855	244 920	33 815 594	12 064 850	672	96 416	22 641 363	21 881 565	561	1 995 658	46 798 950	26 580 842	55 008	2 172 927
39	10 002 598	16 632 943	17 964	678 615	58 824 554	16 849 689	45 030	251 431	36 087 259	12 220 326	512	106 396	23 828 345	27 174 273	588	2 101 693	47 035 922	34 887 725	96 480	2 554 313
40	10 084 734	18 412 228	14 459	699 283	75 423 116	23 311 922	45 977	235 221	37 037 826	11 743 342	906	86 838	23 993 902	27 743 997	438	2 056 749	46 703 120	31 512 361	74 119	2 482 448
41	11 712 260	20 530 166	21 841	614 626	82 368 331	28 503 157	46 388	314 057	41 043 566	13 537 889	519	68 282	25 180 072	28 672 317	537	2 038 646	51 787 083	34 133 535	97 777	2 454 247
42	12 380 582	25 026 531	36 335	687 046	104 598 878	33 455 018	42 169	385 610	46 919 359	16 164 219	846	68 296	28 153 592	29 841 808	5 186	2 176 301	65 940 658	34 239 438	115 828	2 479 801
43	13 268 985	25 961 487	—	—	118 331 904	33 782 487	—	—	52 131 344	18 253 689	—	—	32 246 249	31 828 572	9 300	2 386 909	70 946 943	43 225 332	—	—
42年/35年の倍率	1.78	2.11	(1.21)	—	2.30	4.05	1.09	2.64	1.76	2.17	1.37	4.50	1.47	1.43	8.13	1.15	1.64	1.77	3.20	1.35
年間平均倍率(%)	8.4	10.2	—	—	12.5	19.5	—	—	8.8	13.0	—	—	6.6	5.4	—	3.0	7.4	10.5	—	—
43年/35年の倍率(倍)	1.91	2.19	—	—	2.57	4.10	—	—	1.96	2.60	—	—	1.69	1.52	14.58	1.26	1.76	2.23	—	—

表 1.1.4(a) 5 大港海運貨物取扱量(トン数)

S35~S43

東京約2.1倍
(3,900万t)

名古屋約2.1倍
(7,100万t)

神戸約1.9倍
(11,400万t)

横浜約2.8倍
(15,000万t)

大阪約1.6倍
(6,400万t)

【時代背景】

- ・貨物取扱量等は、戦後の高度経済成長と共に増大、十分なインフラ整備が必要
- ・大阪港は他の主要港湾に比べ取扱量の伸びが低い

- ・大阪市は港湾施設の整備
南港埋め立て地へのアクセス
陸路は埋立地南側のみ

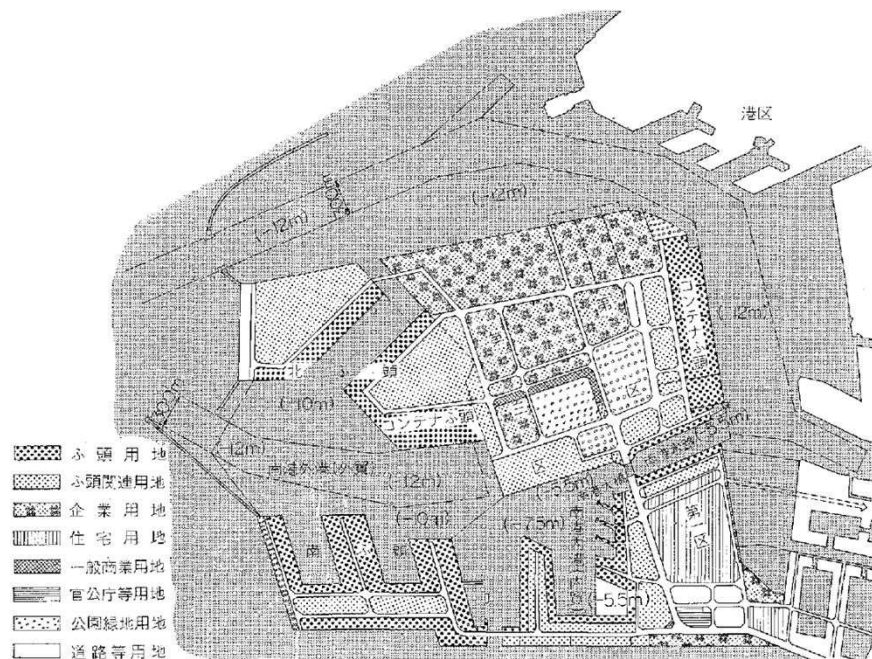


圖 1.1.2 南港埋立て地利用計画

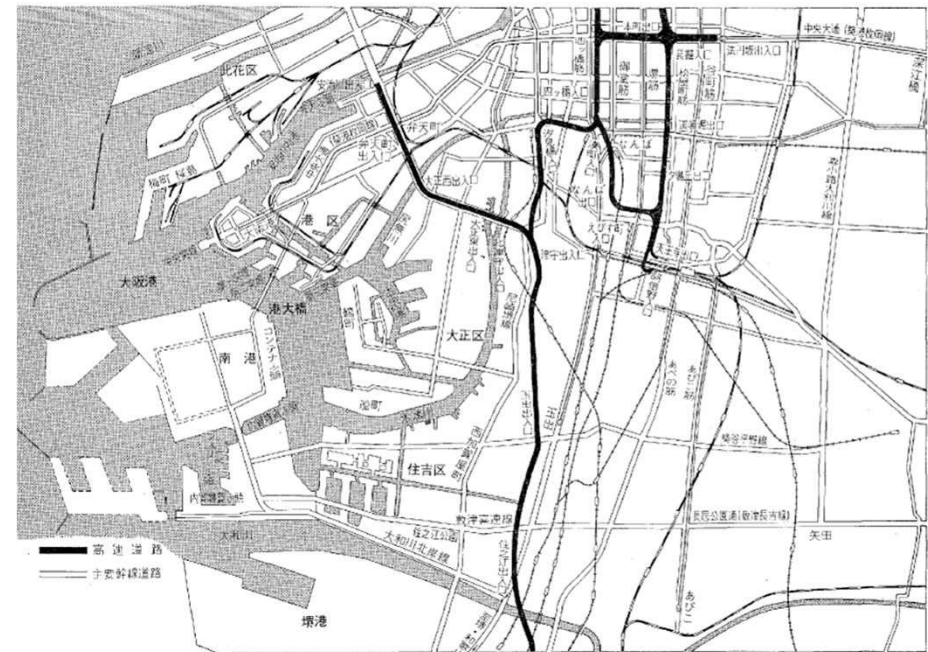


圖 1.1.3 計 画 道 路 網

- 建設省は大阪湾岸道路の整備
湾岸地域を結ぶ幹線道路

埋立地北側からも内陸へ連絡・湾岸地域と内陸部とつなぐ

構造形式の比較 【阪神高速】



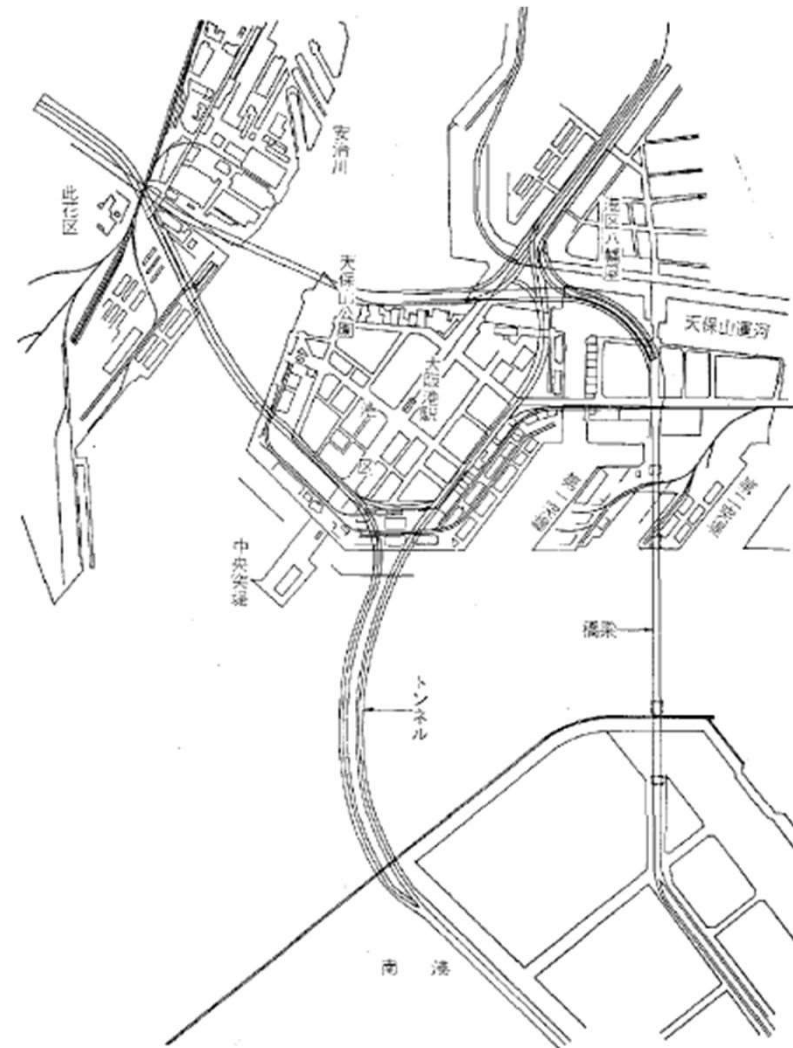
・橋梁案とトンネル案の比較

【前提条件】

- ・構造規格 道路幾何構造要綱B-2級
- ・設計速度 60km/h
- ・道路幅員 4車線2方向 19.0m
(将来8車線)
- ・曲線長 100m以上
- ・視距 75m以上
- ・縦断勾配 6%以下
- ・曲線半径

最大勾配	曲線半径
10%	120m
8%	140m
6%	150m
0%	220m

- ・縦断曲線半径 凸型 1400m以上
凹型 1000m以上



※ この時点では基礎が海中に突出しないように配置 ⇒ 支間: 530m

構造形式の決定



技術委員会

- ① 南港連絡道路として、
橋梁・トンネルいずれも技術的には可能
- ② 橋梁案、トンネル案それぞれの適正な
路線を選定できた
- ③ 本委員会・同分科会の技術資料に基づき
さらに着工までに調査研究を行へば、
経済的合理的な連絡道路の建設は可能

比較結果

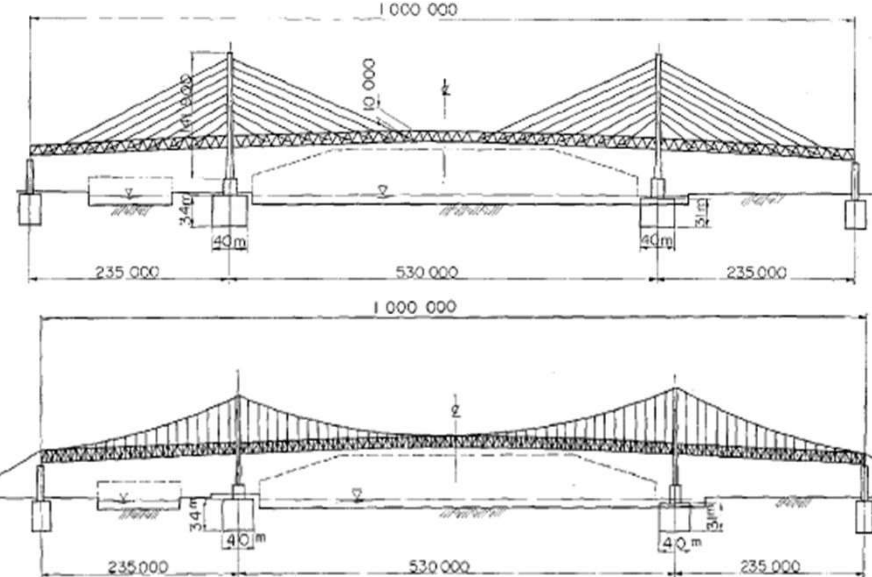
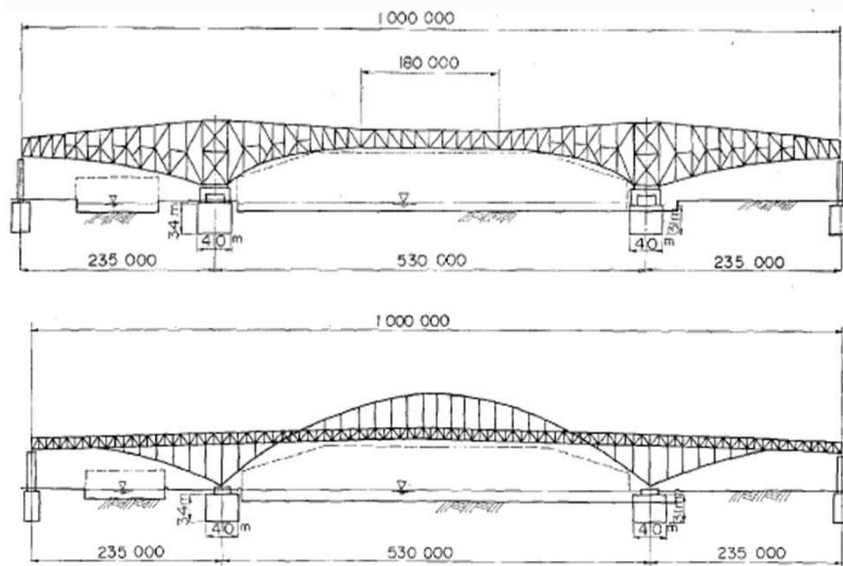
1期・2期(築港深江線・湾岸道路)
事業費をトータルで両案を比較



橋梁案

項目	橋梁案	トンネル案
設計上の問題点	実績・橋梁工学の進歩により設計可能	不等沈下量の予測、地震時の挙動の解明
施工上の問題点	航路閉鎖は少ない 港湾施設への影響は限定的	航路の切り替え等の影響 港湾施設の一時的な使用不可
走行性	圧迫感は少ない	圧迫感は免れない 事後処理が不可能
不等沈下	ある程度修正可能 制限される可能性	走行に影響ない
気象作用	積雪等制限される可能性	特に火災時の対策が必要
防災対策	特に考える必要ない	換気・照明に要する経費が大
維持管理	塗装に多大な費用が必要	
湾岸道路	先行投資額が大きい	安治川に向け縦断勾配6%が1kmあまり続く

橋梁形式の比較

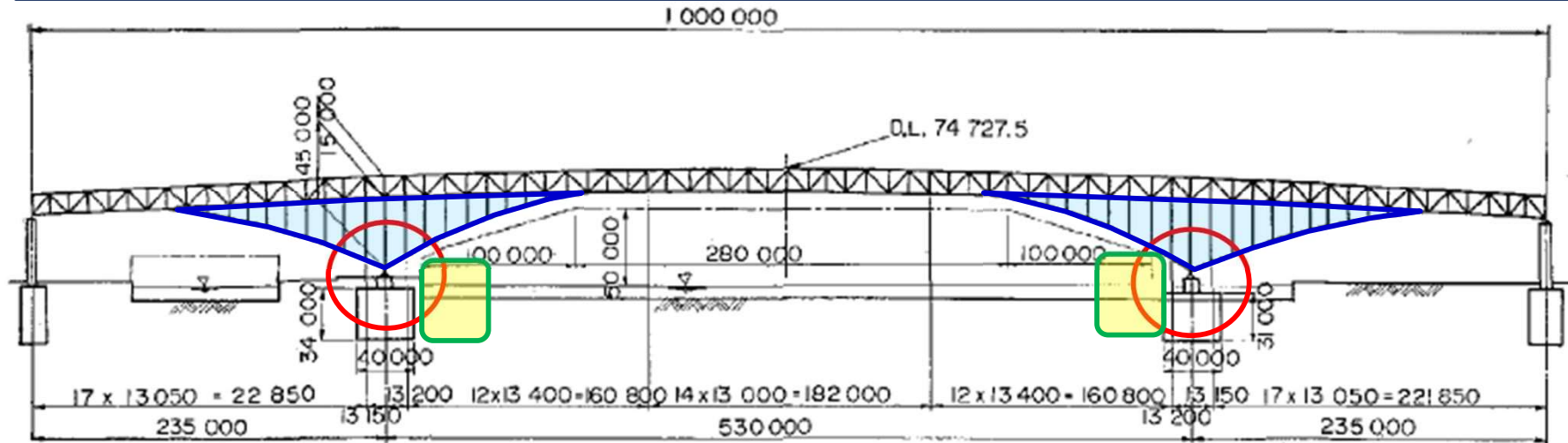


ゲルバートラス橋	アーチ橋	斜張橋	吊橋
- 実績が多い - 安定性が高い - 静定構造 → 不等沈下に対して有利 - 比較的基礎が小さい	- 地震時 → 固定橋脚に影響大 - 課題 架設時耐風安定性 ケーブルアンカー - 不等沈下に対して影響が大きい	- 比較的軽量 - 課題 耐風安定性 架設時の安全性 基礎的な実験が必要	- 地盤条件より → アンカー巨大 - 経済性 - 施工性 - 耐震安定性 - 用地条件

架設条件の変更



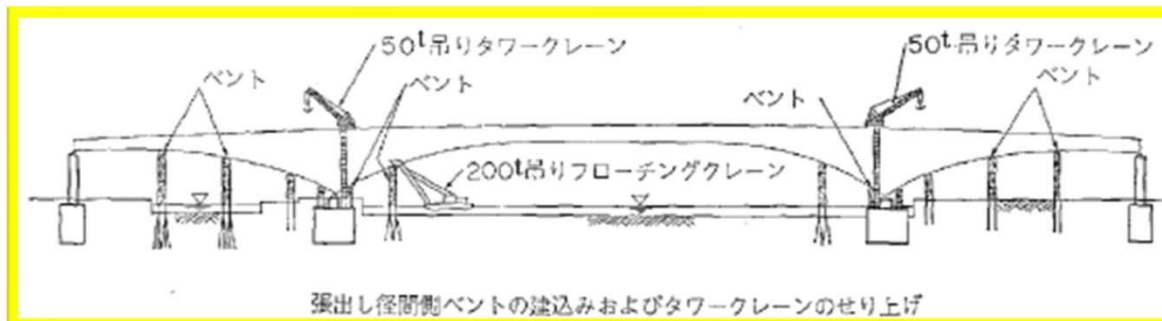
施工中支保工を海中におよそ**40mの範囲**で設置が可能となった条件変更に伴う構造の見直し



下部工に対して有利な構造に見直し

(**4本柱** → **2本柱** アーチ状弦材で補剛した二本柱形式)

➤ 概略計算でおよそ1,000 t の減量



【本形式の課題】

トラス下弦材とアーチ状弦材の結合までが不安定

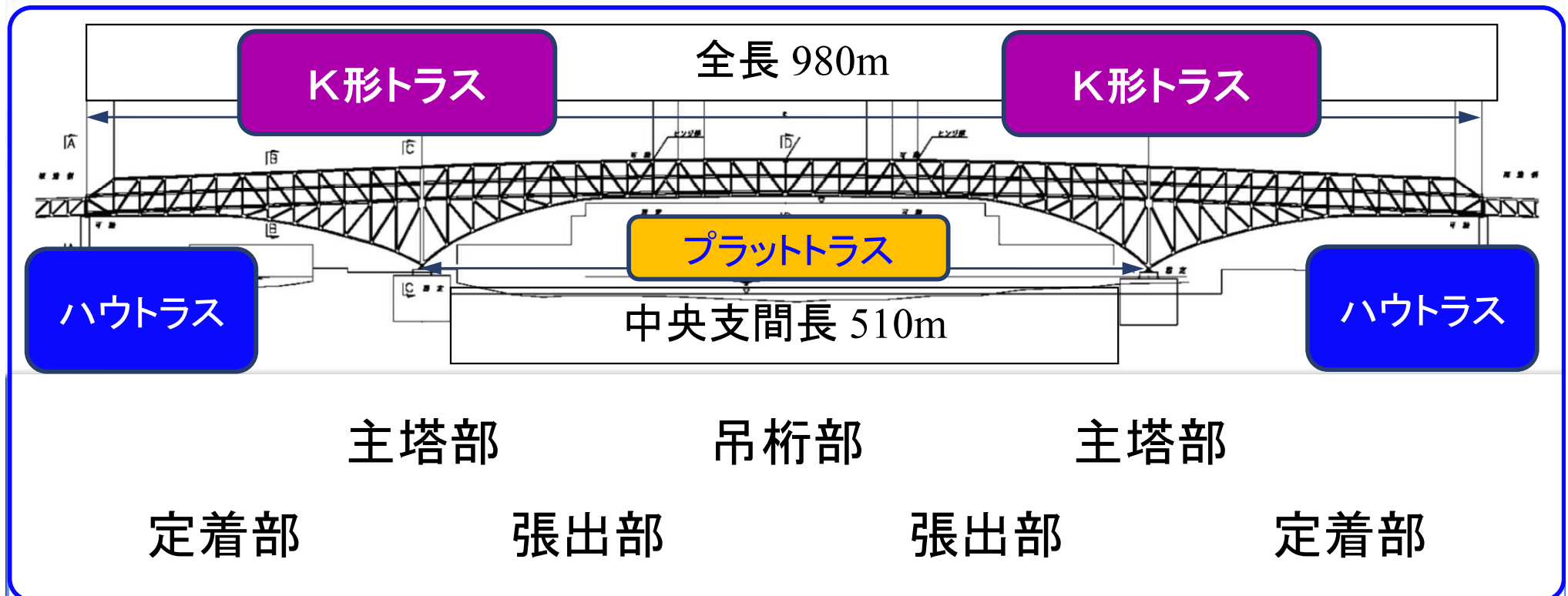
架設用仮部材が必要となる
うえ、その部材の取り付け構造上溶接性に問題があるため
1ブロック当りの重量が大きくなり架設の面で大きな課題

橋梁形式の決定



架設について比較すると、「アーチ+トラス案」は仮部材が必要となり全体の安定性について他の形式に比べると困難である。

また、「プラットトラス案」は斜材の大きさが問題となる。「K形トラス案」は小さい三角形が他の形式に比較して早く組み立てる点に優位性を持つ



地質条件による沈下量算出



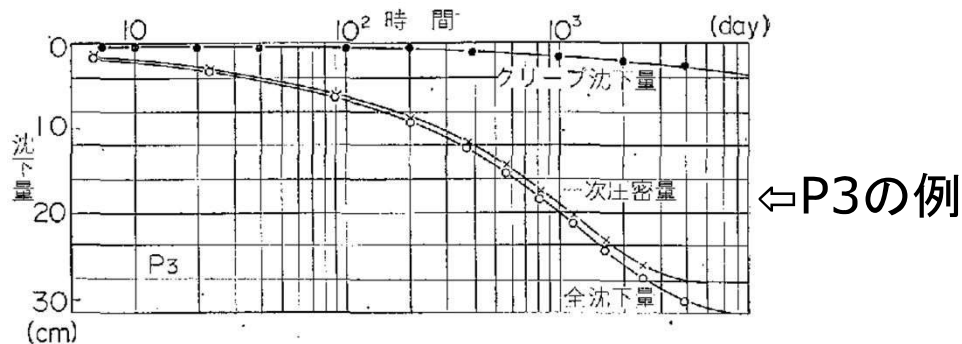
第1砂礫層(OP-35m付近)天満砂礫層を支持地盤に想定

【課題】

支持地盤より深くにある洪積粘土層(天満層粘土10~15m厚さ)の沈下特性

【試験】標準圧密・くり返し圧密・三軸圧密・三軸クリープ等

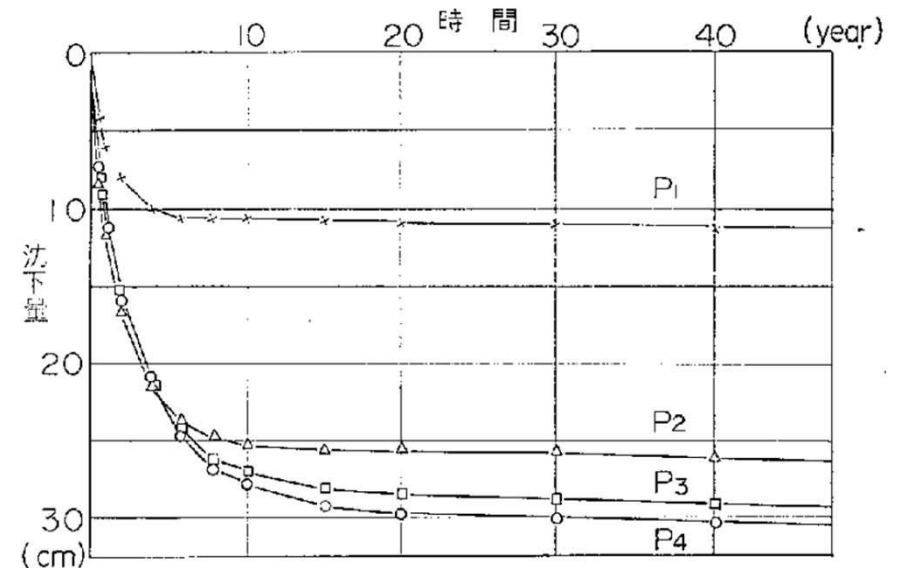
➡ 圧密係数・ポアソン比・静止土圧係数・せん断弾性係数・クリープ速度



一次圧密沈下とクリープ沈下
(粘土の横方向変位も考慮)



圧密理論、弾性理論および粘弾性理論



設計試算値による各橋脚の沈下～時間曲線

支持層の選定



ケーソンの安定

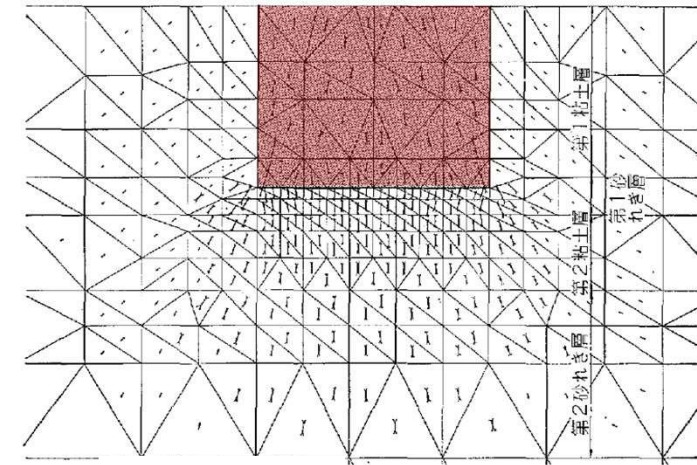
【課題】第2粘土層への影響

支持層：第1砂礫層厚6m(ケーソン幅40m)

【地盤応力の広がり】

- ① 簡易な計算法(下図)
- ② 2次元有限要素法(右図)

➡ 応力分布は似かよった傾向を示した



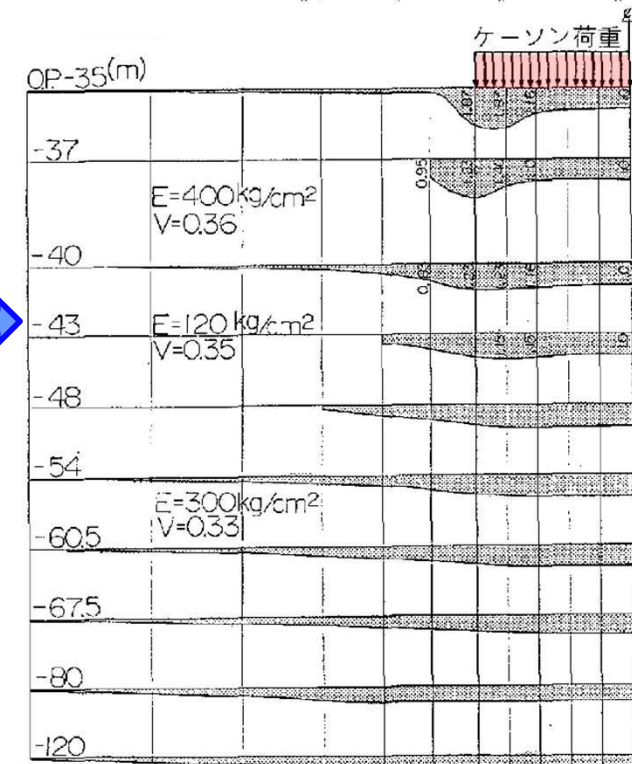
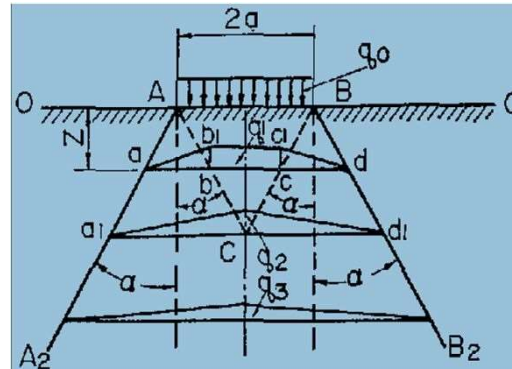
P₂ ケーソン:

$$q_0 = \frac{P}{A} = \frac{77\,967(75\,808)}{40 \times 40} = 48.7(47.4) \text{ t/m}^2$$

P₃ ケーソン:

$$q_0 = \frac{P}{A} = \frac{67\,205(65\,046)}{40 \times 40} = 42.0(40.7) \text{ t/m}^2$$

() 上路のみ供用時



第2粘土層の支持力

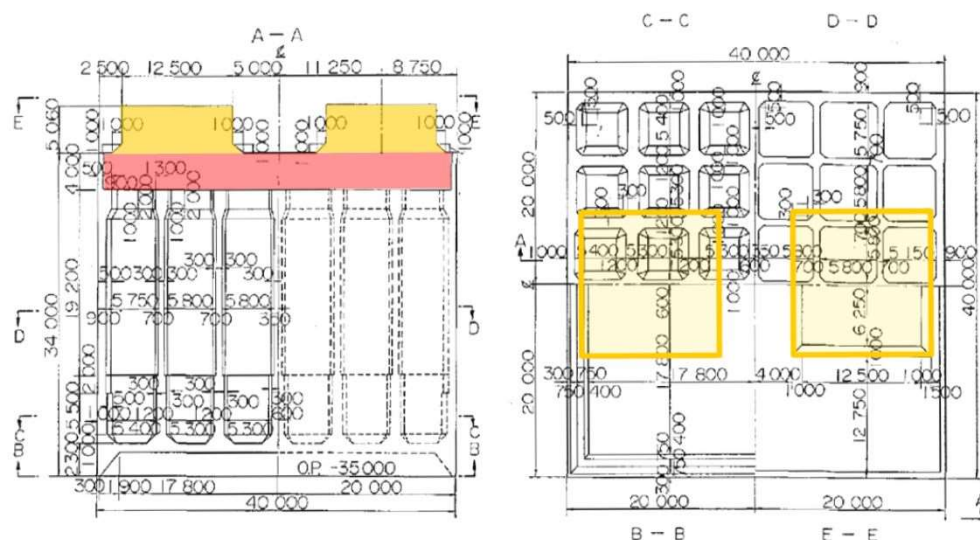
【許容支持力】

P₂ケーソン: 69t/m²、P₃ケーソン: 62t/m²

第1砂礫層の地盤反力《上記》に対して安定

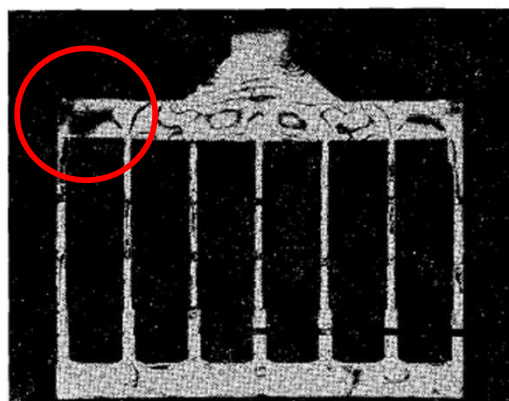
0.50 100(t/m²) 有限要素法による地中応力算定結果

ケーソン基礎の1次設計

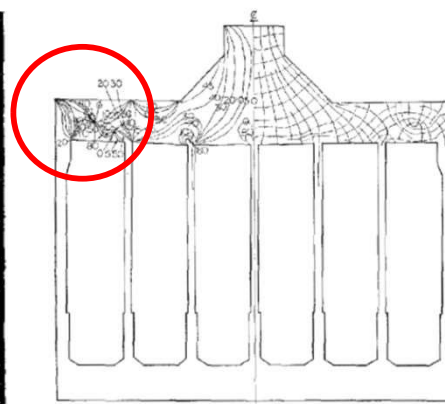


ケーソン一般図

隅角部に応力集中



等色しま図



等傾曲線と主応力線図

頂版の3次元光弾性実験

(模型材料はアダルタイトBタイプ)
(本体と地盤のヤング係数比を調整)

【目的】

頂版・橋脚部の応力分布を調べる

【結果】

頂版厚の4mはケーソンの大きさから考えると比較的薄めであるが、橋脚と一体化したため頂版の剛性が上がったことにより、応力がかかなり小さくなっている

隅角部に応力集中が確認されたため、
本設計に向けハンチ部を大きくすることに

本設計は実験後の上部工荷重の変更と併せて実施し、3次元有限要素法により確認することにした

ケーソン基礎の施工



■ 基礎形式

- ・ケーソンの床面積は40m × 40m、深さは35m
橋梁の基礎構造として当時の世界最大級の規模

【施工】 〈 築 港 側 〉 鹿島・鴻池共同企業体
〈 南 港 側 〉 大林・白石共同企業体



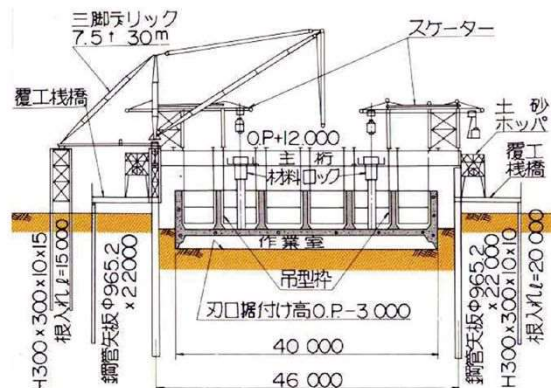
築 港 側 P11
(写真奥)

南 港 側 P12
(写真手前)

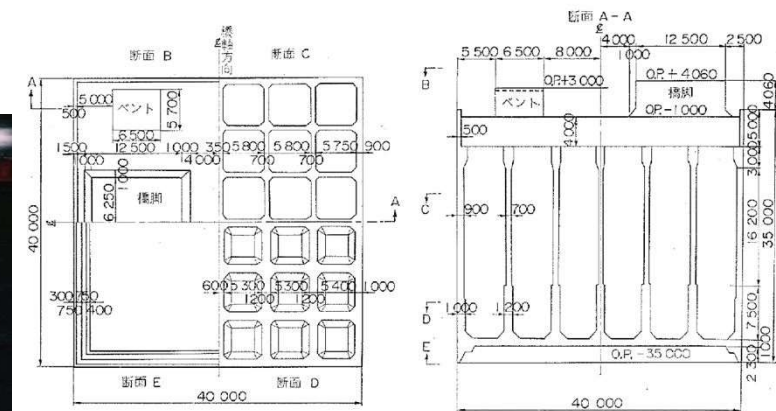
ケーソン基礎施工に伴う
調査および試験等

- ①地質調査
- ②機雷調査
- ③第2突堤の地中障害物調査
- ④電気アナログ模型実験
- ⑤現地透水係数試験
- ⑥地盤改良の検討
- ⑦頂版のマスコン対策

低減工法(揚水井戸)作業気圧 3.5→2.5



(作業室内) レール吊り下げ式
360度旋回電動ショベル



ケーソン一般図 (P11 P12中間橋脚基礎)

気象データの集積

①

過去に大阪港の強風について
10の台風による気象記録
木津川尻、築港分室
大阪管区気象台の観測データ

②

大阪港中央突堤にある
ハーバーレーダー塔(地上50m)に
風向風速計を設置して計測を実施
風速22.1m/s
(瞬間最大29.2m/s)

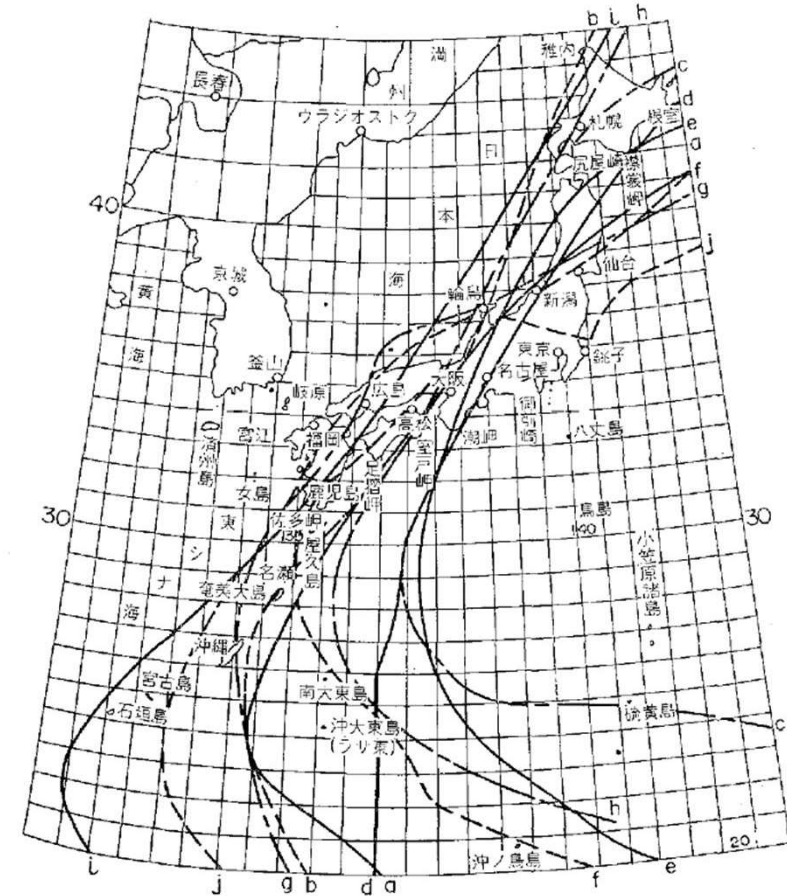


図 2.3.79 台風経路図

【上部工設計】

当時の道路橋示方書（支間長200m以下が対象）の適用範囲外であったため、製作や経済性も考慮し、独自の検討を行う必要があった

- 耐震設計：静的震度法では実際と乖離の懸念
➡実際に近い状況を把握・評価が必要
- 耐風設計：横方向外力の評価算定が課題
（基本風速、抗力係数、揚力係数、載荷法）
- 2次応力：部材剛度と剛性の高い格点構造を考慮した外力の処理に関する検討
- 死荷重軽減：下部構造への影響を軽減、単部材重量の軽減
➡高張力鋼の使用
- 断面構成：曲げを考慮したガセットの板厚算定
フィレット部の応力集中の検討
箱断面のかど溶接の設計法
使用鋼材および橋の規模に適度合した溶接法
継手構造・製作精度を考慮した単純な断面構成
（＝施工能率、将来欠損による破壊発生の予防）
- 架設時外力：架設期間中の気象影響を考慮する

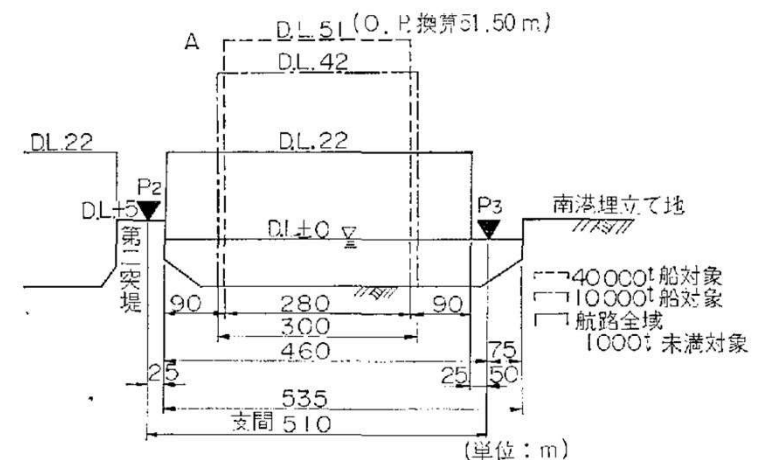
【1次設計】

トラスの形状と基本寸法

- ・完成時：構造物の安定性
- ・架設時：航路の安全確保

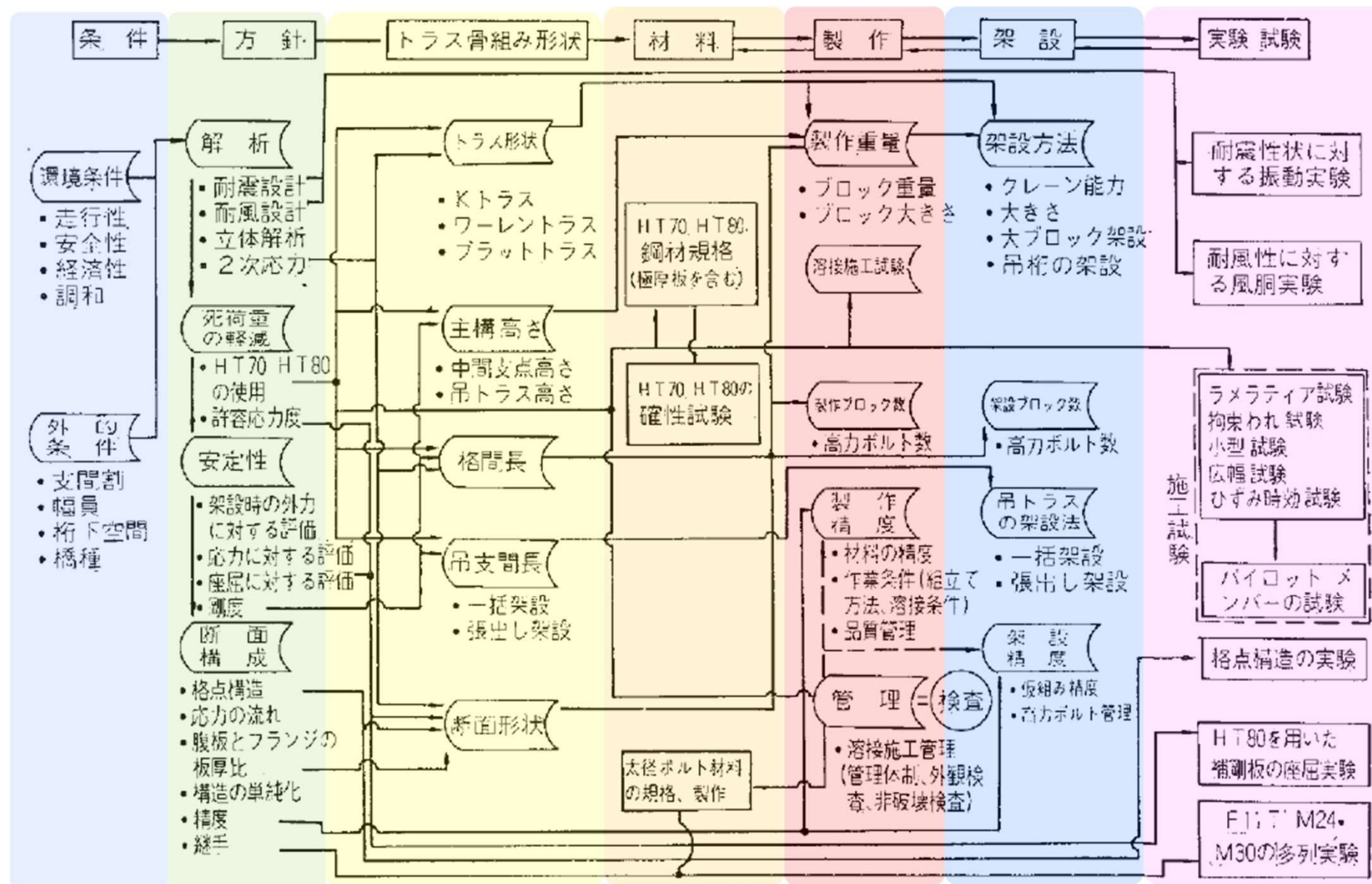
- 高い桁下空間の確保
- 橋梁の重心を低く
- トラベラークレーンで架設

上弦材をほぼ水平に下弦材の寸法を変化させる構造



航路建築限界

課題の整理



トラス高さの検討



構高比較

【上路構造の課題】

- ・弦材断面が剛となりすぎ設計施工上思わしくない
- ・取付部の出入り口の位置や幾何条件によって困難

外国の既設橋梁と比較

- ・トラス高と中央径間長との比は約1/20
- ➡ トラス高15mの場合 1/38、25mの場合 1/20

部材長・架設方法・美観を考慮した再検討

- ・トラス高 (15m⇒25m) 格間長 (15m⇒18m)

主構格間長の検討

下弦材断面・単一部材ブロック重量・格点構造・鋼床版・その他の床組み等比較検討 ➡ 格間長は18m

トラス高さ (15m⇒25m) 外力の比較

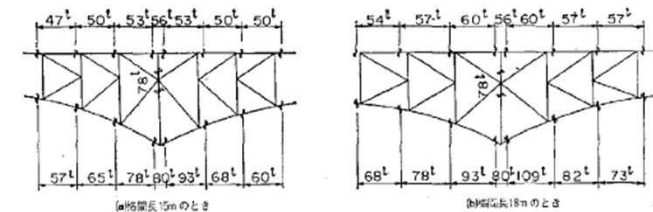
- ・常時の軸力が約10%減少
- ・支配荷重は塔付近では風荷重が大きく

トラス高と鋼重

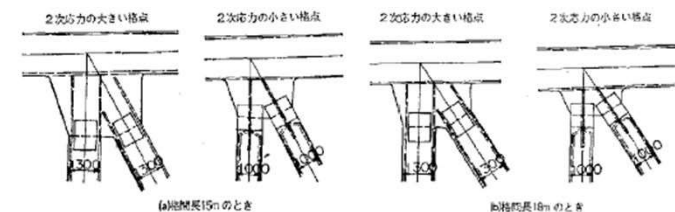
- ・大差ない (15m=39,580t ⇔ 25m=40,621t)

格間長	15 m	18 m																																																																																								
2次応力	大(上・下路)の2次応力は格間長に比例するが、既設橋・新橋はより大きい	小																																																																																								
下弦材断面	<table border="1"> <tr> <th>材種</th><th>規格</th><th>40</th><th>40</th><th>40</th><th>50</th><th>50</th><th>50</th></tr> <tr> <td>スチール管</td><td>φ</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td></tr> <tr> <td>長さ</td><td>mm</td><td>50</td><td>60</td><td>68</td><td>72</td><td>54</td><td>54</td></tr> <tr> <td>重量</td><td>kg</td><td>250</td><td>400</td><td>550</td><td>52</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>合計</td><td></td><td>494</td><td>53</td><td>2,954</td><td>2,733</td><td>918</td><td></td></tr> <tr> <td>1/t</td><td></td><td>26.4</td><td>25.6</td><td>23.0</td><td>25.3</td><td>28.3</td><td>28.2</td></tr> </table>	材種	規格	40	40	40	50	50	50	スチール管	φ	40	40	40	50	50	50	長さ	mm	50	60	68	72	54	54	重量	kg	250	400	550	52			合計		494	53	2,954	2,733	918		1/t		26.4	25.6	23.0	25.3	28.3	28.2	<table border="1"> <tr> <th>材種</th><th>規格</th><th>40</th><th>40</th><th>40</th><th>60</th><th>50</th><th>50</th></tr> <tr> <td>スチール管</td><td>φ</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>60</td><td>50</td><td>50</td></tr> <tr> <td>長さ</td><td>mm</td><td>54</td><td>66</td><td>74</td><td>74</td><td>70</td><td>58</td></tr> <tr> <td>重量</td><td>kg</td><td>3,685</td><td>4,070</td><td>4,358</td><td>4,934</td><td>4,944</td><td>2,668</td></tr> <tr> <td>1/t</td><td></td><td>31.4</td><td>32.1</td><td>28.4</td><td>31.1</td><td>33.3</td><td>33.2</td></tr> </table>	材種	規格	40	40	40	60	50	50	スチール管	φ	40	40	40	60	50	50	長さ	mm	54	66	74	74	70	58	重量	kg	3,685	4,070	4,358	4,934	4,944	2,668	1/t		31.4	32.1	28.4	31.1	33.3	33.2
材種	規格	40	40	40	50	50	50																																																																																			
スチール管	φ	40	40	40	50	50	50																																																																																			
長さ	mm	50	60	68	72	54	54																																																																																			
重量	kg	250	400	550	52																																																																																					
合計		494	53	2,954	2,733	918																																																																																				
1/t		26.4	25.6	23.0	25.3	28.3	28.2																																																																																			
材種	規格	40	40	40	60	50	50																																																																																			
スチール管	φ	40	40	40	60	50	50																																																																																			
長さ	mm	54	66	74	74	70	58																																																																																			
重量	kg	3,685	4,070	4,358	4,934	4,944	2,668																																																																																			
1/t		31.4	32.1	28.4	31.1	33.3	33.2																																																																																			
鋼重(上・下路)の合計	1,300 (-520 t)	1,850 t																																																																																								

断面の比較



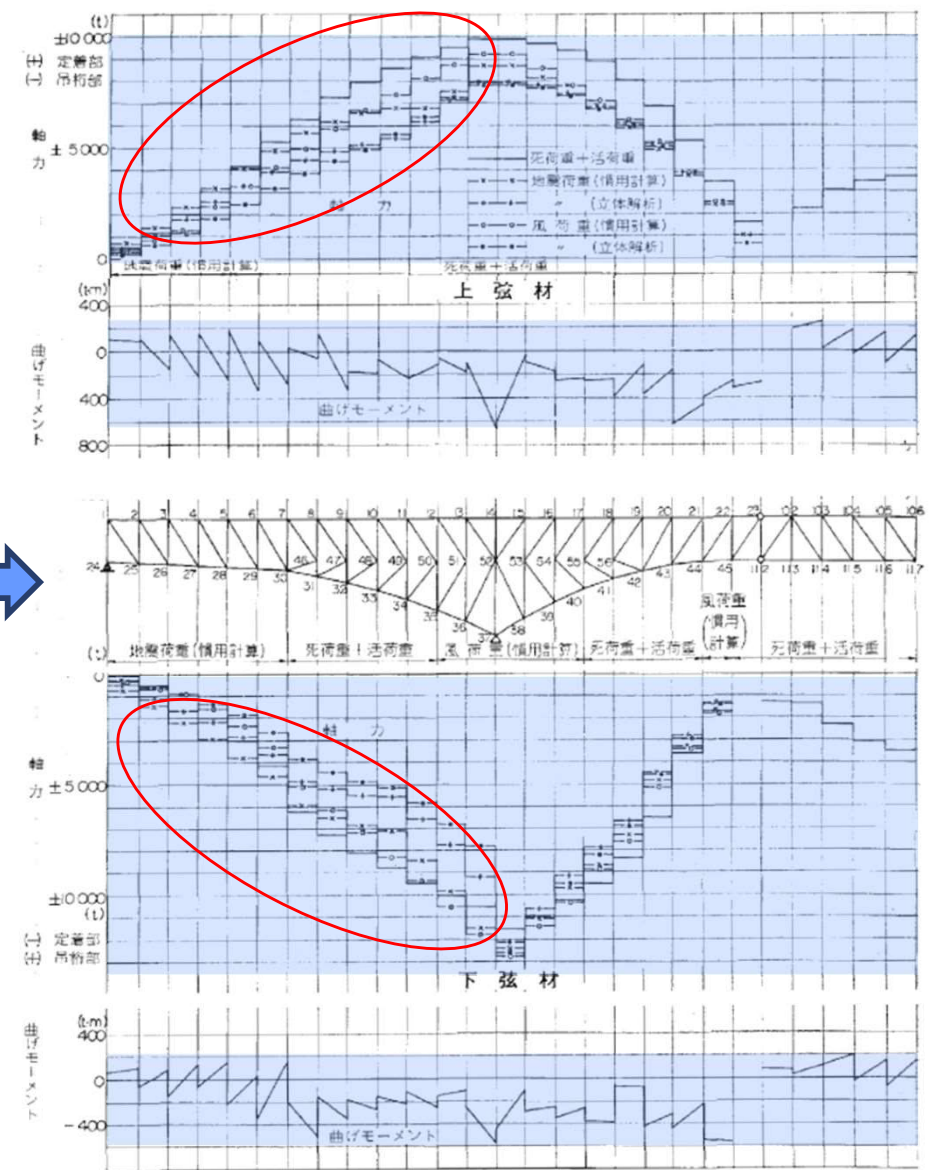
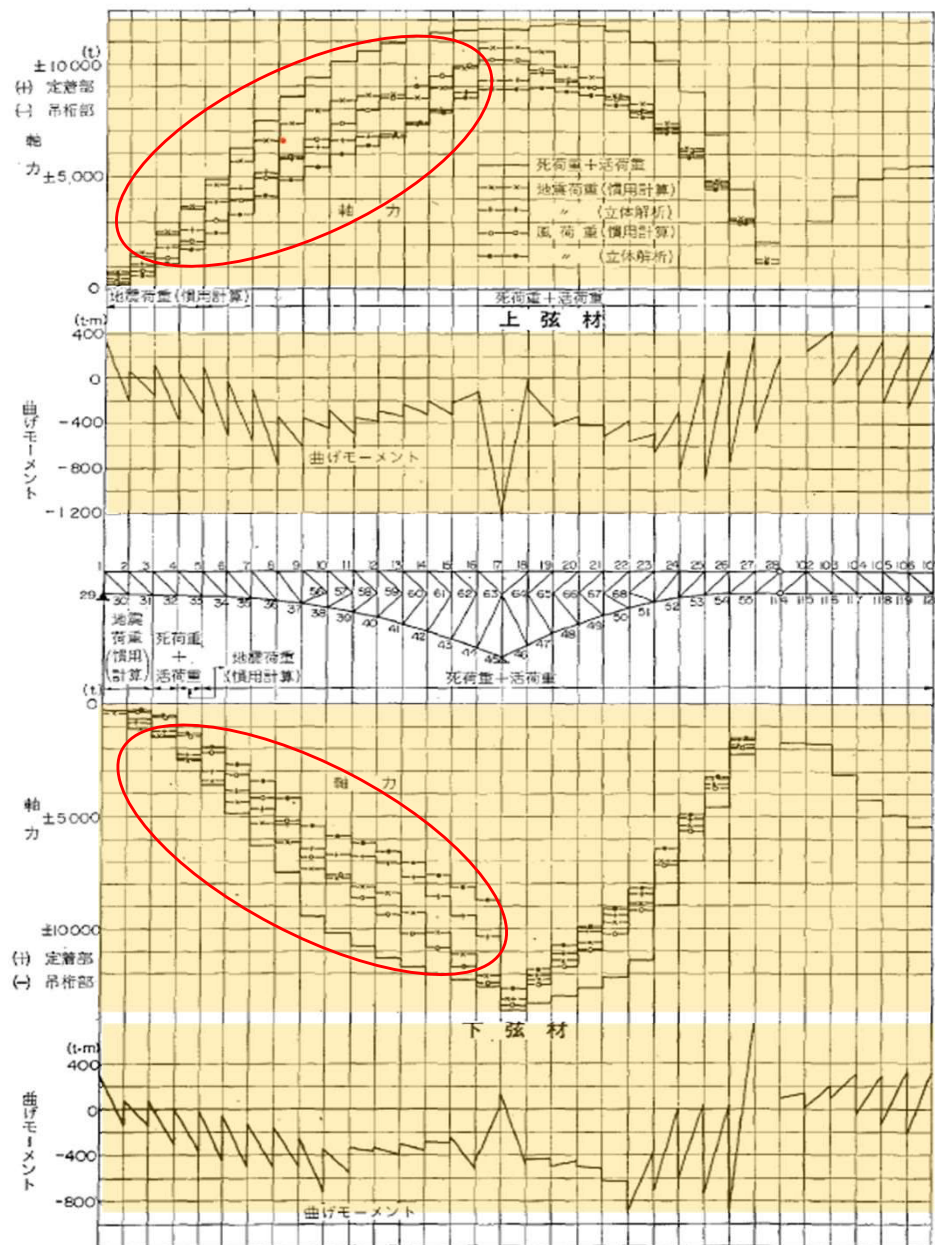
ブロック重量の比較



標準断面	15 m	18 m
標準断面		
(上・下路とも)	+130 t (SM50:170 t FIT:10 t.)	
標準・対橋	15 m	18 m
標準断面		
(上・下路とも)	+330 t (SS41:170 t SM50:150 t FIT:10 t.)	

横構・横桁の比較

トラス高さによる部材力の比較



【地震力】

- ① 長周期構造物の動的特性
- ② トラス構造の立体構造特性

修正震度法 による設計

応答を考慮した(設計震度・震度分布)→立体骨組み解析

➤ 設計震度

- ・定着径間部、張り出し径間部、吊り径間部、塔部に分類
- ・橋軸直角・橋軸・上下方向の地震の成分方向で設定

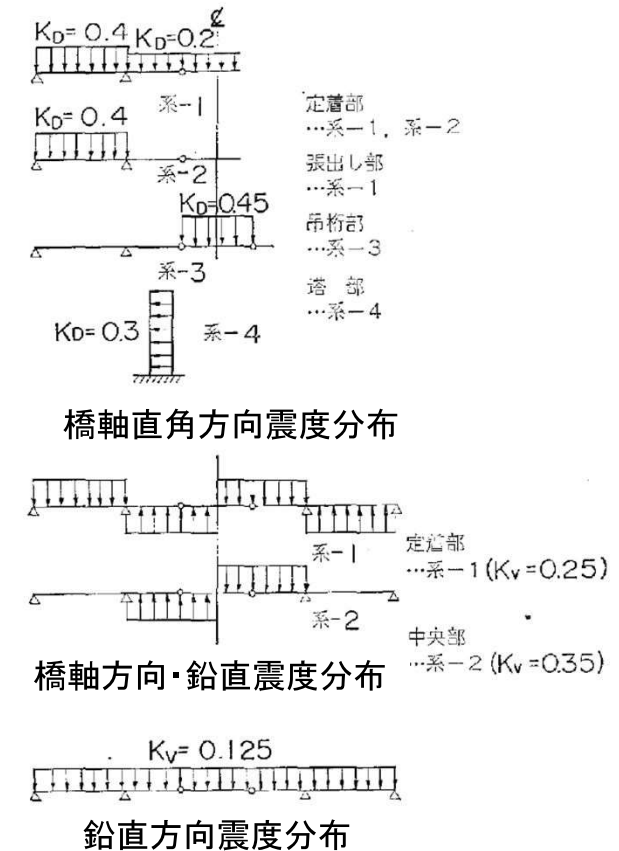
【風力】

構造的にたわみ・ねじり剛性が高いため静的設計
(静的空気力として抗力・揚力を考慮)

- ・設計風速: 50m/sec (35年間のデータ→再現期間100年)
これに、高度および水平長による補正を加える
- ・載荷方法
1種構面に全面載荷し、上下弦材へ均等分配

※) 静的空気力の評価は、縮尺1/500の全体模型 および 1/200の部分模型の
風洞実験により確認した

震度分布

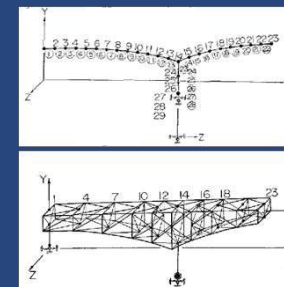


震度分布は、各部材の応答が卓越するモードにより決定

● 修正震度法の固有値解析に用いる振動モデルの妥当性検討

- 固有値解析によって固有周期を算定
- 模型実験で得られた固有周期と比較

■ 実験(縮尺1/200)
橋軸直角方向に水平と上下
固有周期(自由振動・強制振動)
変位測定(静的水平載荷)



◆ 多質点系の棒モデル

トラス橋で実験値と一致する知見
はある、港大橋の形状ではどうか

◆ 立体の骨組みモデル

電子計算機の許容範囲に課題、
実橋に忠実になっているか

実験値とほぼ一致、低次と高次で
棒系モデルと立体モデルの比が一定

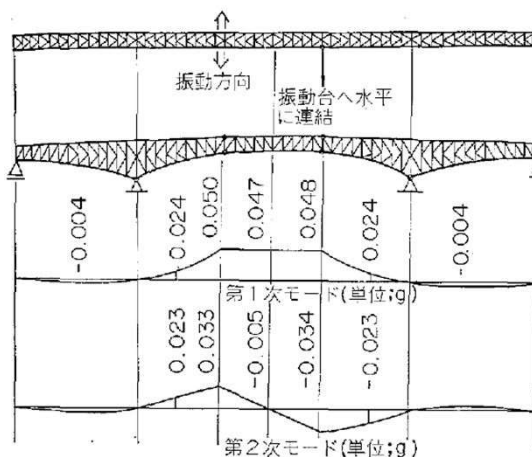
設計に用いる 棒系モデルは概ね
妥当

高次振動で中間支点付近の下弦材に
大きな部材力応答

(トラス構造の立体的な振動性状)

これは棒系モデルでは把握できない

立体モデルによる動的解析が必要



加速度計による水平強制振動より
得られた第1次、第2次モード

模型実験固有周期

方 向	振動方法	固有周期 (sec)		室 温 (°C)
		模型 T_m	実橋 T_p	
水 平	自 由	1次 0.120	3.84	12.5
		1次 0.125	3.86	23.8
	強 制	2次 0.089	2.74	"
上 下	自 由	1次 0.058	1.86	12.5
	強 制	2次 0.060	1.94	24.0

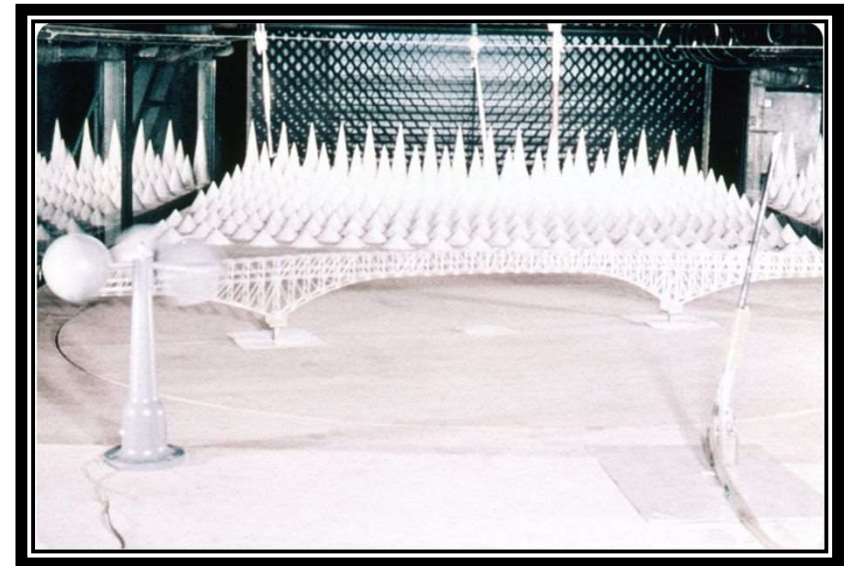
理論値と実験値の比較
() は下部工を固定したケース

振動方向	次数	理 論 値 (sec)		実験値 (sec) (強制振動)
		棒系モデル	立体モデル	
橋軸直角	1	3.73 (3.48)	4.72	3.86
	2	2.97 (2.72)	3.81	2.74
	3	1.59 (1.11)	2.14	—
	7	0.81 (0.57)	0.95	—
	10	0.68 (0.46)	0.85	—
橋 軸	1	2.16	2.25	—
	2	1.87	2.05	1.94
	3	1.28	1.35	—

風洞実験

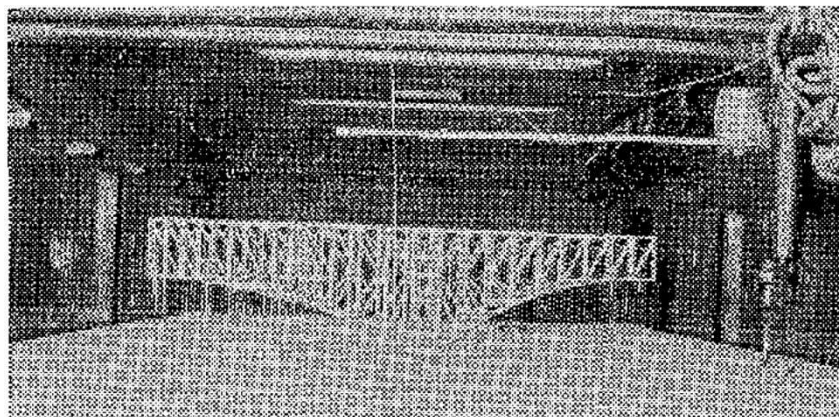


- 静的空気力係数
既往のトラス橋実験値からの推定ではなく
➡ 本橋模型で風洞実験（抗力・揚力等）
- 基本風速
過去35年間のデータを統計分析
➡ 50m/sec
- 風荷重載荷法
自然強風の横方向の相関性データ不足
➡ 橋軸直角方向から全面に固定載荷
- ばね吊り動的試験
振動応答（トラス橋では生じ難い）変動風
➡ 発生風速（170m/s）十分な安全率

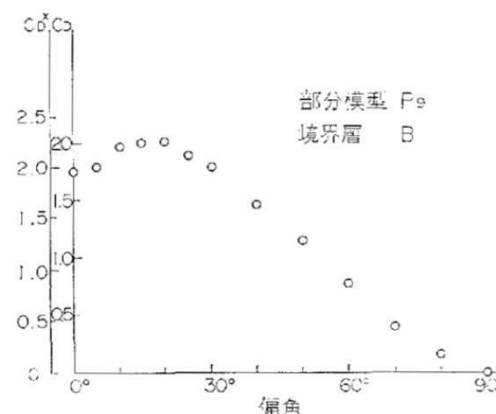


全体模型による実験状況
京都大学【吸い込み式エッフェル型風洞】

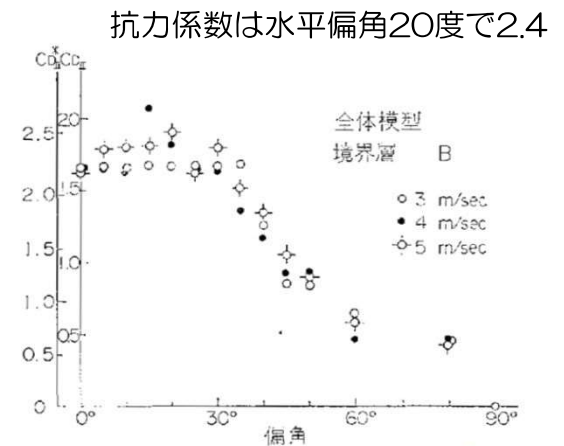
写真奥に設置されている物は高さ方向に増加する風速分布を再現するため一定間隔で配列したアルミ板



張り出し架設時の部分模型実験



部分模型の抗力係数



全体模型の抗力係数

抗力係数は水平偏角20度で2.4

鋼材の調査



80kg/mm²級鋼は US STEEL で1950年代に開発
1958年Carquinez(カーキネス)橋に初めて使用

70,80kg/mm²級鋼の規格
極厚(100mm)まで

製鋼所の調査

製鋼炉の性能
鋳型の大きさ、圧延法
熱処理条件等の製造履歴
製造可能重量
寸法及び焼き戻し性能

< 確性試験 >

母材特性
溶接性
溶接継ぎ手性能
ぜい性破壊特性

鋼材製造各社から提供
された多数の鋼材性能に
関する試験結果を分析

< 試験を実施 >

化学成分分析
外観および形状検査
内部検査
引張試験
曲げ試験
衝撃試験
板厚方向かたさ計測
最高かたさ試験
ビード曲げ試験
斜めy形溶接割れ試験
ディープノッチ試験
SR後の強度・靱性調査
溶接継ぎ手試験

適用規格	鋼種記号	適用板厚 (mm)	化 学 成 分							機 械 的 性 質				切欠きじん性	
			C	Si	Mn	P	S	V	B	Ceq	Y.P. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	El. (%)		
橋梁(港大橋)	HT70	6≤t ≤50	0.14 以下	0.55 以下	1.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	—	—	0.49 以下	63以上	70~85	6<t≤16 t>16	5号 17%以上 5号 23%以上	vE ₋₁₅ ≥4.8kg・m vT _{RE} ≤-35°C
		50<t ≤100	0.17 以下	同上	同上	同上	同上	—	—	0.53 以下	60以上	68~73	t>20	4号 17%以上	
	HT80	6≤t ≤50	0.14 以下	同上	同上	同上	同上	—	—	0.53 以下	70以上	80~95	6<t≤16 t>16	5号 16%以上 5号 22%以上	同 上
		50<t ≤100	0.17 以下	同上	同上	同上	同上	—	—	0.57 以下	68以上	78~93	t>20	4号 16%以上	

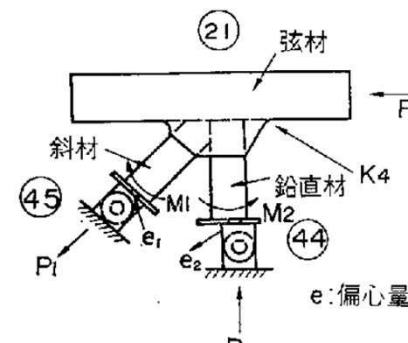
製鋼上の限界点と製作上の限界点を見極め
橋梁として必要な性能を満足するために設定
極厚化(製作と架設の省力化のため断面をコンパクトに)

【検討内容】

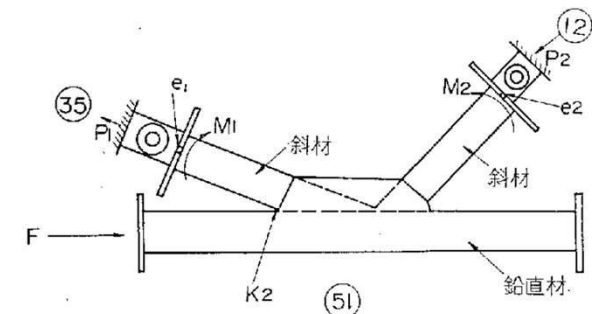
断面の大きい部材を
ガセットで結合するため
格点剛結による曲げ
モーメントが大きく
このためガセットの
局部変形について検討

【実験結果】

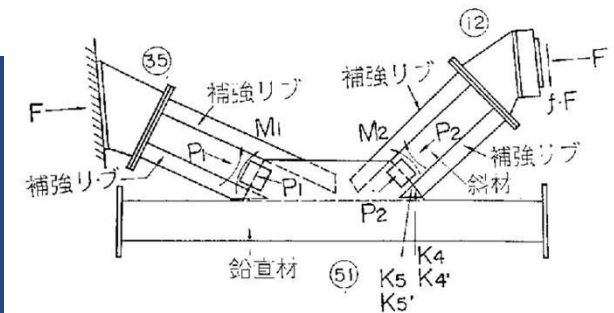
- 自由端で局部的な面外変形
- ガセット内の主応力は斜材方向を向いている
- ガセットの応力度は計算値と実験値がほぼ一致
- 圧縮部材のハンドホールは弾性座屈の可能性
- ガセットコーナー部応力集中係数
➡ 【 平均1.4 、最大1.6 】



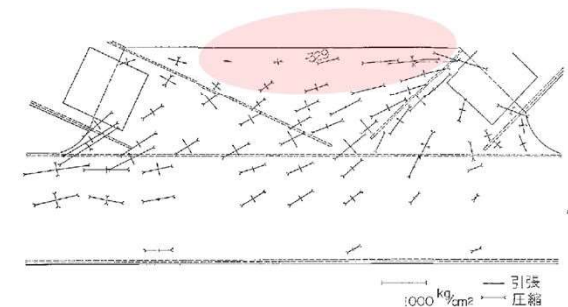
弦材の格点 (Aタイプ)



鉛直材の格点 (Bタイプ)



(Bタイプ) 偏心量を大きくした载荷方法



(Bタイプ) 主応力分布

溶接施工小型試験



かど継ぎ手

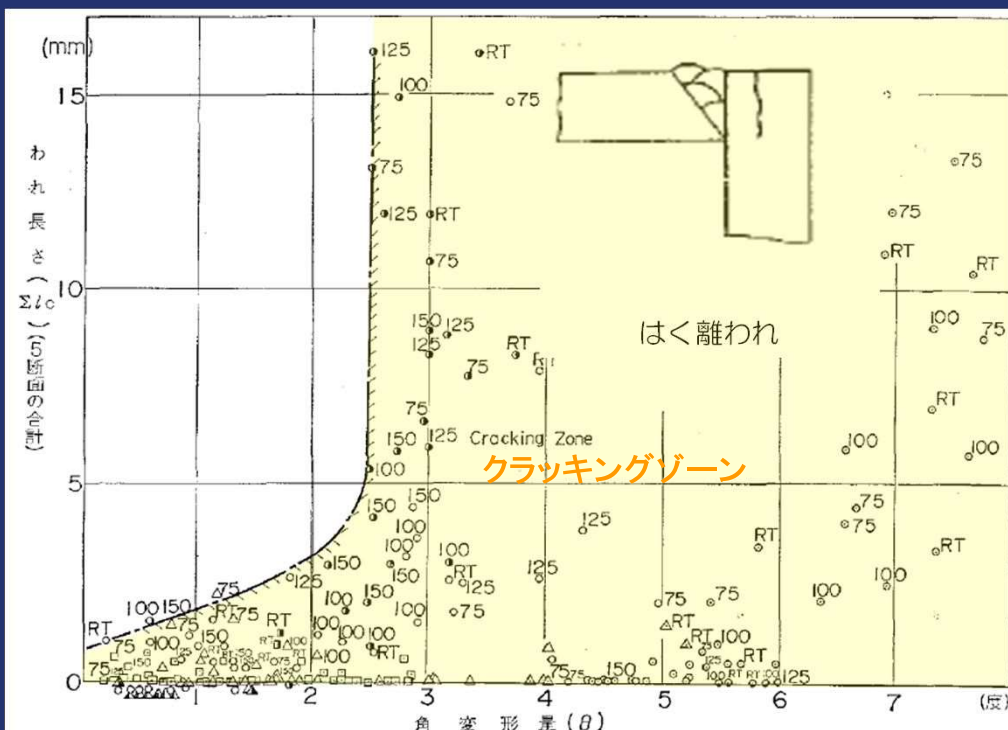
部分溶け込み溶接 の 溶接施工小型試験

【結果】

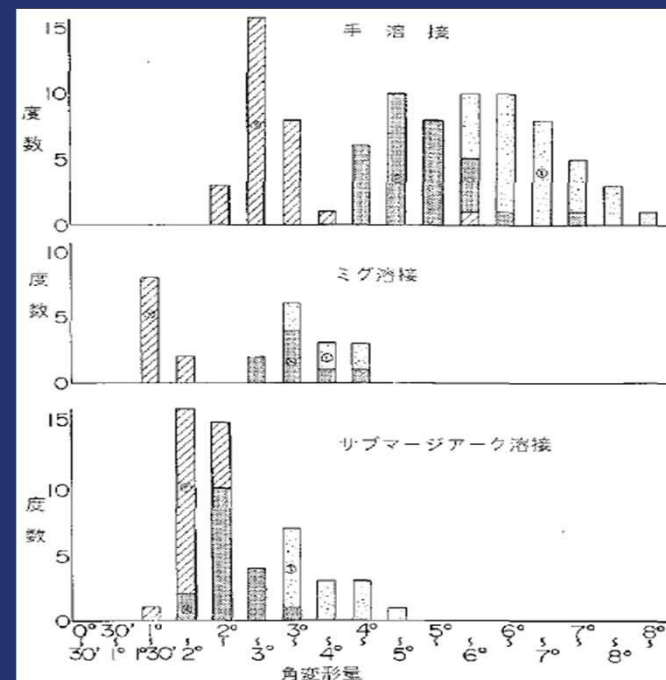
予熱したものに「はく離われ」はほとんど発生せず

- ・ 非常に回転量の大きい場合のみ発生
- ・ 角変形量（溶接入熱量に反比例）右図参照

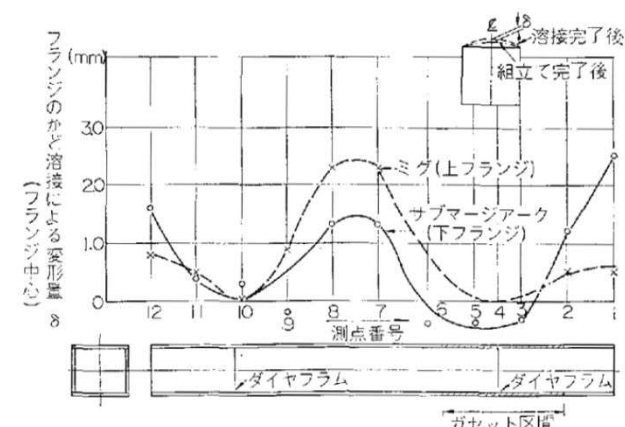
被覆アーク溶接 > ミグ溶接 > サブマージアーク溶接



はく離われ試験結果

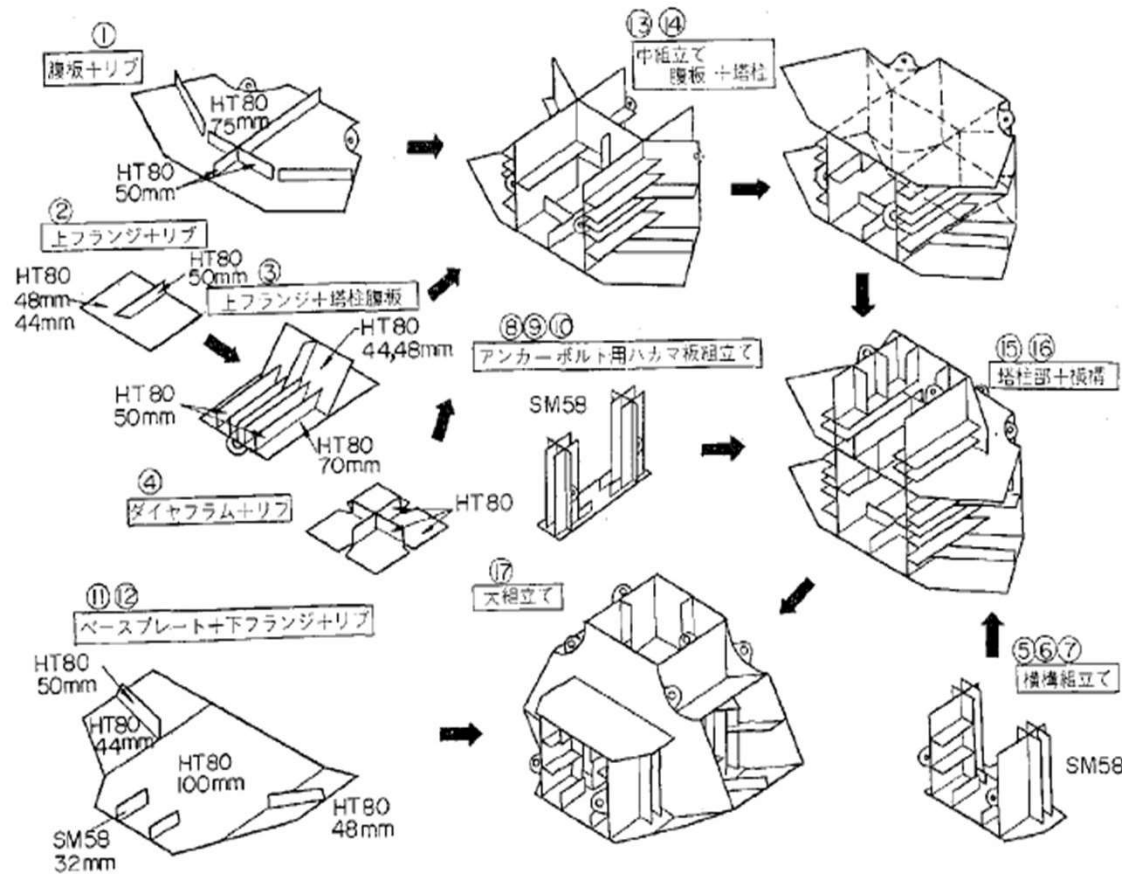


ラメラティア試験における角変形量（拘束なし）

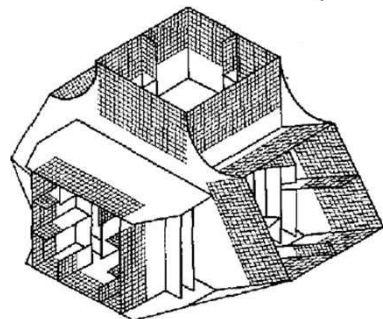


箱断面のかど継手によるフランジ変形量

塔部の大型試験



パイロットメンバー（塔基部）組立順序一覧図



穴あけ使用機械

フランジ	横型ラジアルボール
腹板	横型ラジアルボール
リブ	エアドリル

【予熱】

仮付け: 手動バーナー
本溶接: 固定バーナー(裏側から)
ストリップヒーター

【溶接】

仮付け: 手溶接
本溶接: ミグ溶接・サブマージーク溶接

【端面切断】

水平ボリングミルを使用
平坦性: 5/100以下の良好な仕上

【穴あけ】

切断面を基準にテンプレートを使用してフルサイズで後穴あけ加工

《課題抽出》

- 重量物の後穴は効率が非常に悪い
- 溶け込み不良個所はマクロの断面を参考に開先形状を見直し
- 溶接個所の機械的特性は小型と同等
- 線状加熱ひずみ取りは可能
- 実橋では変形防止の補正治具が必要など

上部工の製作



【施工】

三菱・日立・石播・川重・横河橋梁・横河工事共同企業体

S46.8本設計開始

S47.2製作開始

(S47.5製作本格化)

施工試験を行って製作方法を確立

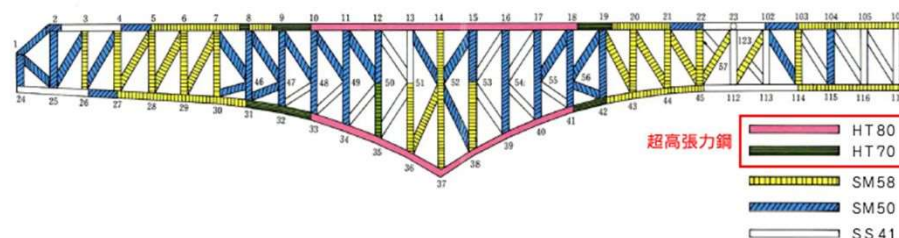
◇ HT70.HT80の組み立て

◇ かど継ぎ手

溶接施工試験(HT70、HT80)

- 小型・中型試験体による施工試験
- 下弦材および塔部パイロットメンバー実物大試験
- 施工法認可、溶接工技量検定等の溶接施工試験

超高張力鋼の使用部位



S47.12 塔部の架設開始

S48. 4 張り出し架設開始(トラバークレーン)

S49. 7 供用開始



支承の製作



(株)日本製鋼所 : 中間支承

住友金属工業(株)： 端鉛直支承・端水平支承・ヒンジ支承・固定水平支承

造型（鋳型）寸法精度の高い 自硬性鋳型

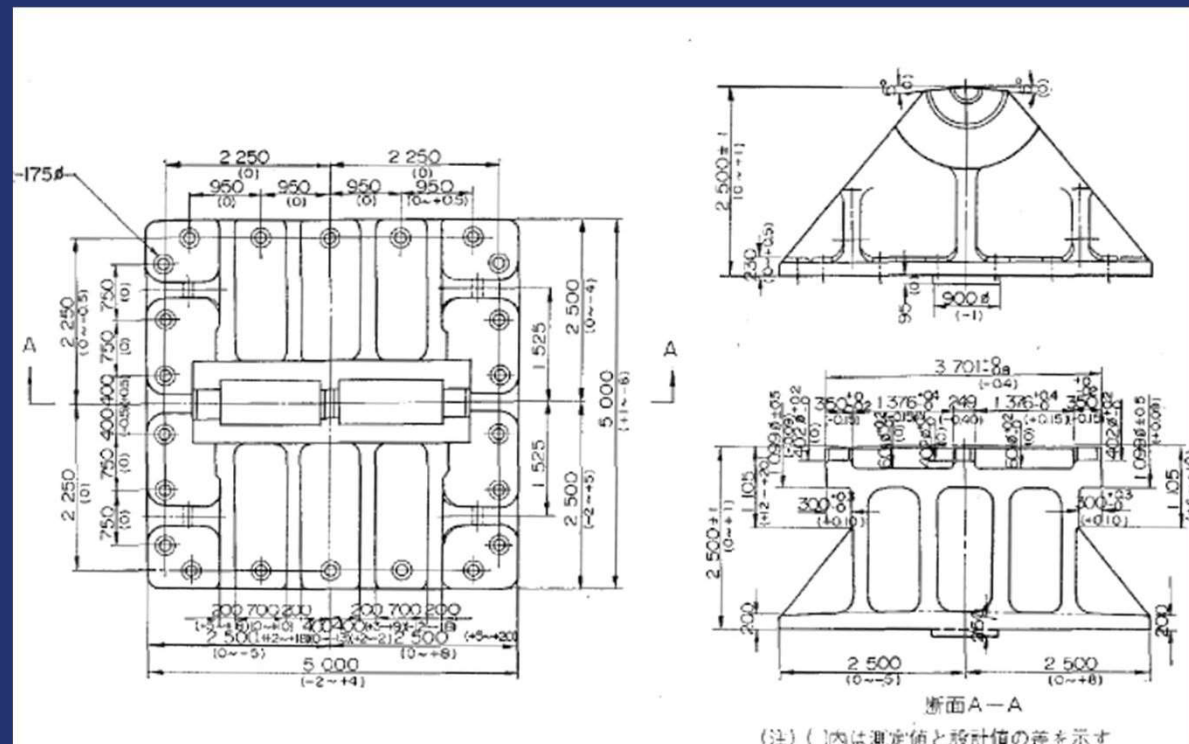
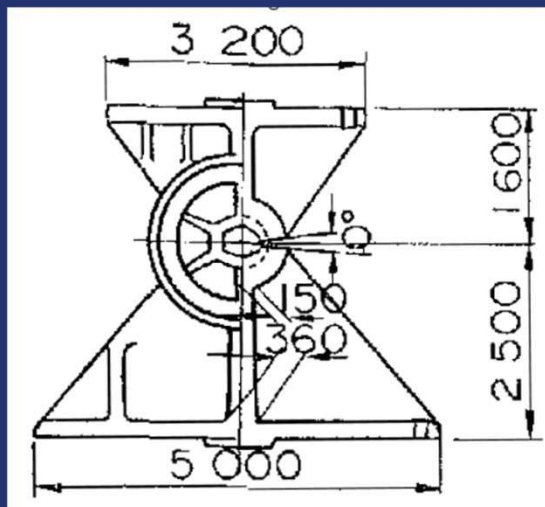
鑄物砂【クロマイトサンド】 焼き付きがない、炭素の侵入防止、優れた崩壊性

検査 染色浸透探傷検査

磁粉探傷検査

超音波探傷検査

➡ 有害な損傷はなかった

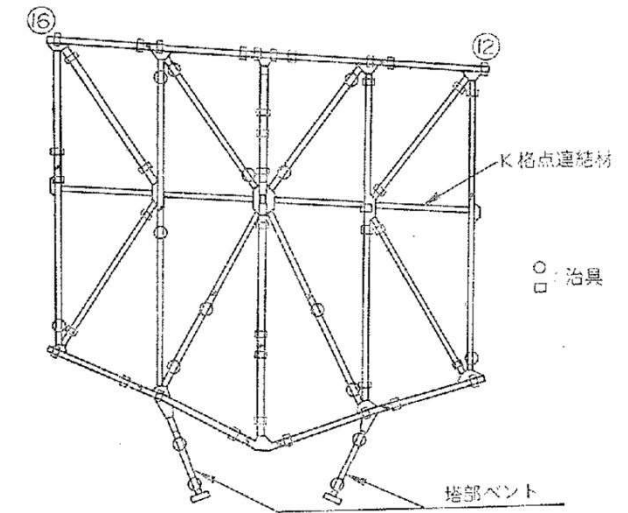


185t

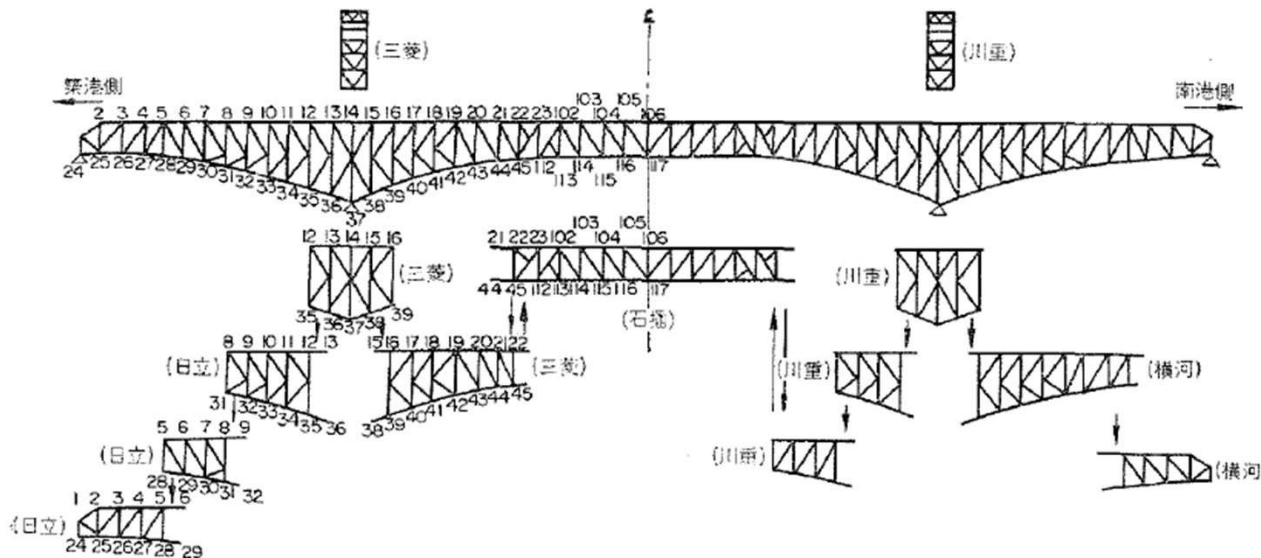
仮組み立て



- 分割平面仮組み立てを基本とした
ただし、一括吊り上げを行う吊桁部は立体組み立て
- 各部材が無応力状態になるように支点を配置
- 主要部材の添接部は30%以上のボルトまたはピン
- 他工場との取り合いは部材をラップさせて実施



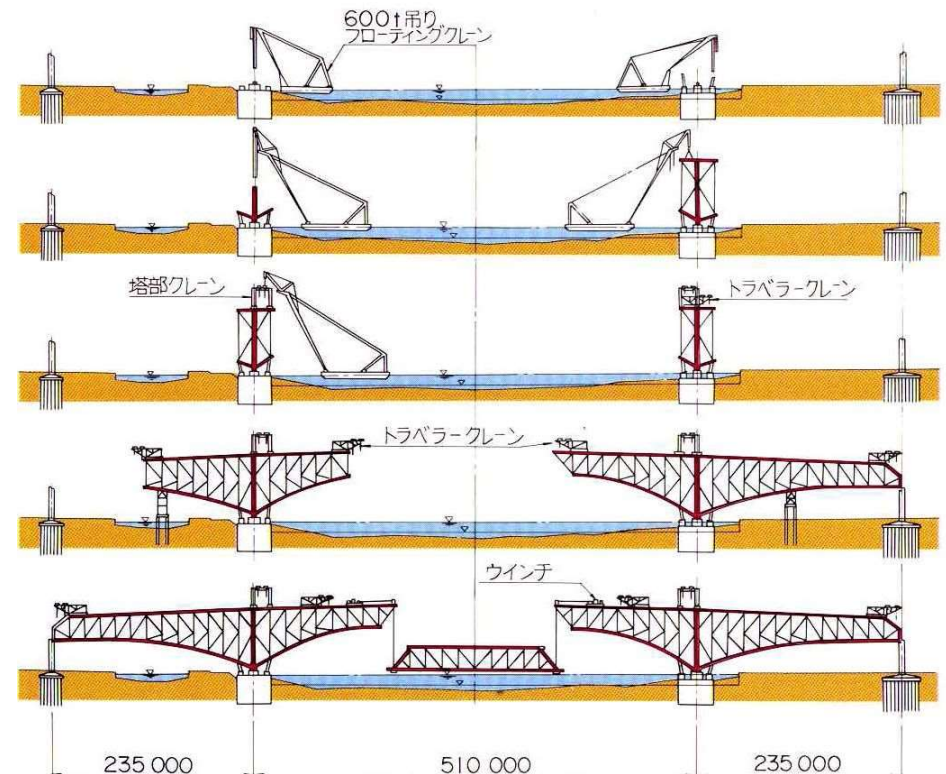
仮組立て治具配置図



港大橋の架設



- 中央支間4,500 t の一括吊上げ架設
 - ・上部工は、定着径間、張り出し径間の主構を中間支点から仮支材で支持させながら、上弦材に設置したトラベラー・クレーンにより両側へ張り出し架設。
 - ・支間長186mの中央吊桁部は床組も含め工場で組立て、台船で海上曳航し、張り出し桁に設けたウインチを用いて約4,500tを一括して吊上げ。



港大橋の建設(ダイジェスト)



構造再生(地震対策)

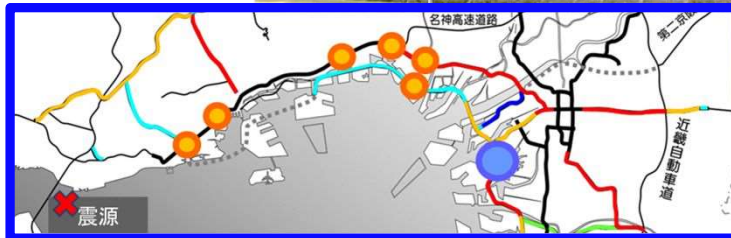
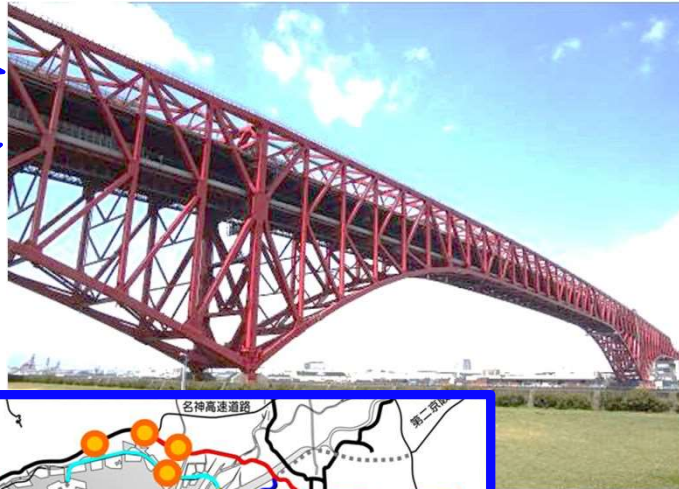


兵庫県南部地震による損傷



上路
床組み

下路
床組み



● 倒壊・落橋
● 港大橋

床組み構造の連結装置損傷



床組みの支承セットボルト脱落



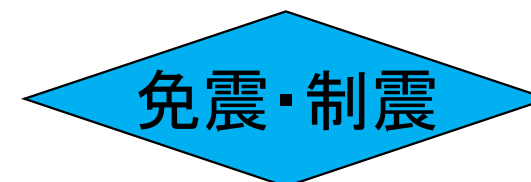
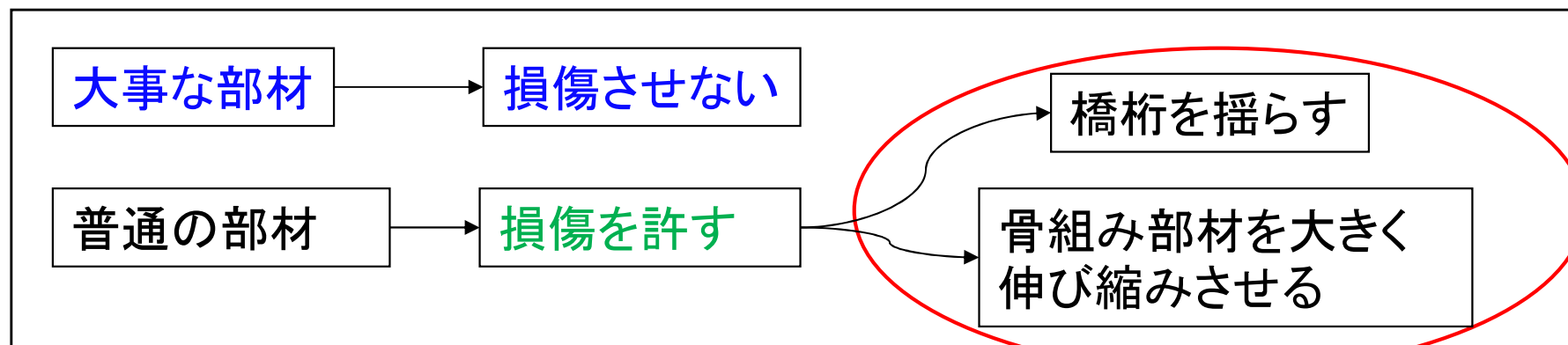
床組み支承の変位制限装置に損傷



一般橋梁と同様の方法で耐震補強を行うと、莫大な費用と長い時間が必要

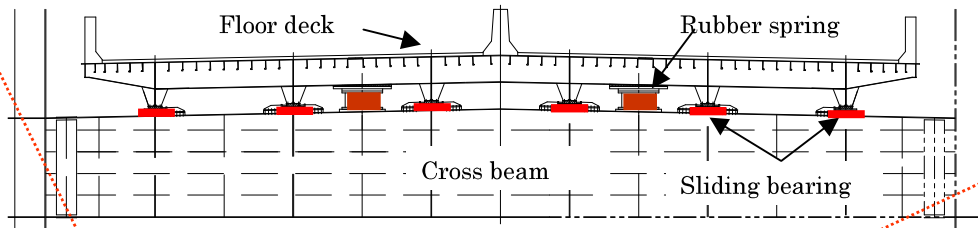


「損傷制御設計」の導入



レベル	機能的要求	要求性能(損傷制御構造)
性能1	- 人命保全 - 車両通行可能 - 補修不要	- 主構→弾性 - 非主構→弾性 - 損傷制御部材→履歴減衰を期待
性能2	- 人命保全 - 車両通行可能 - 補修必要	- 主構→弾性 - 非主構→損傷許容 - 損傷制御部材→履歴減衰を期待
性能3	- 人命保全 - 長期閉鎖	- 主構→損傷許容 - 非主構→損傷許容 - 損傷制御部材→履歴減衰を期待

●床組免震化



●一部部材補強

●斜材座屈防止材



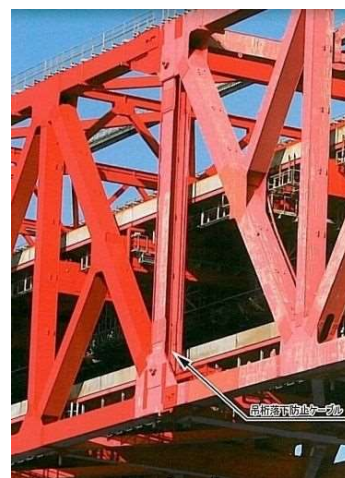
●端部落橋防止



●中間支承落橋防止



●落橋防止吊ケーブル



●制震ブレース

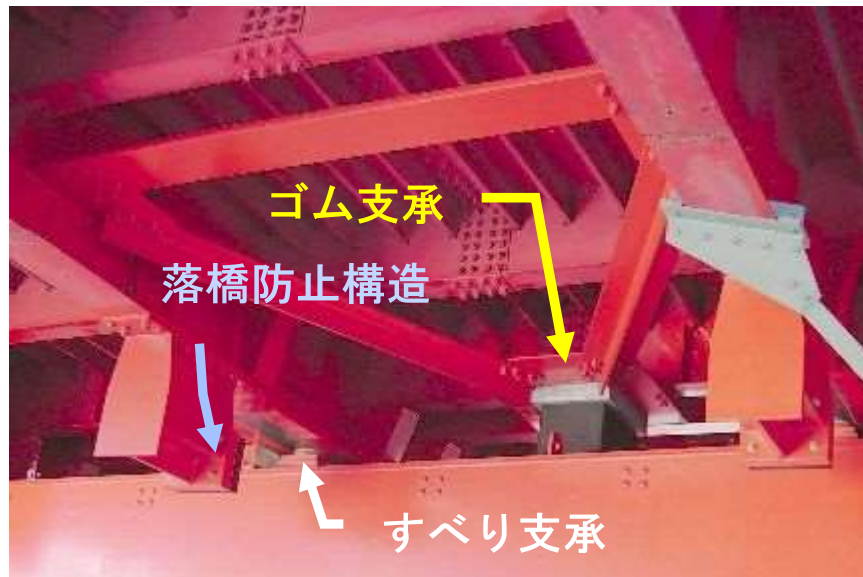
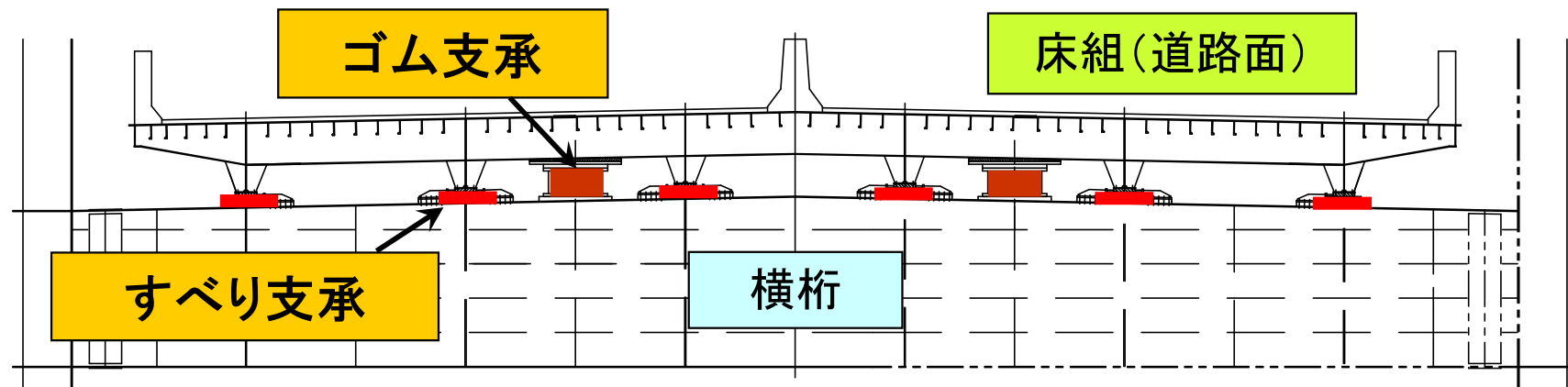


床組免震化



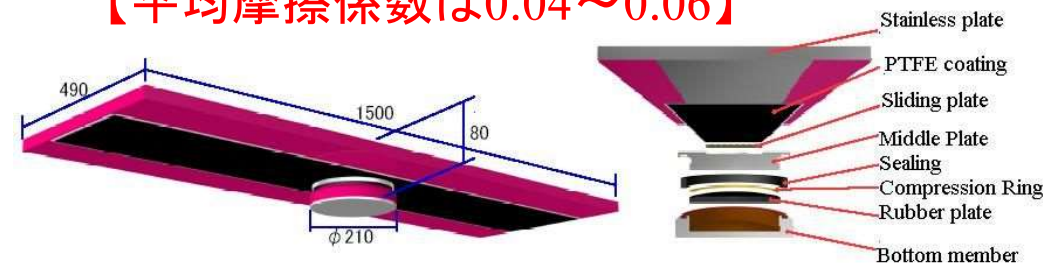
全重量の約4割を占める床組（道路面）をすべり支承により免震化

➡ 床組に橋軸方向の揺れを伝えない



■ すべり支承構造詳細図

【平均摩擦係数は0.04～0.06】



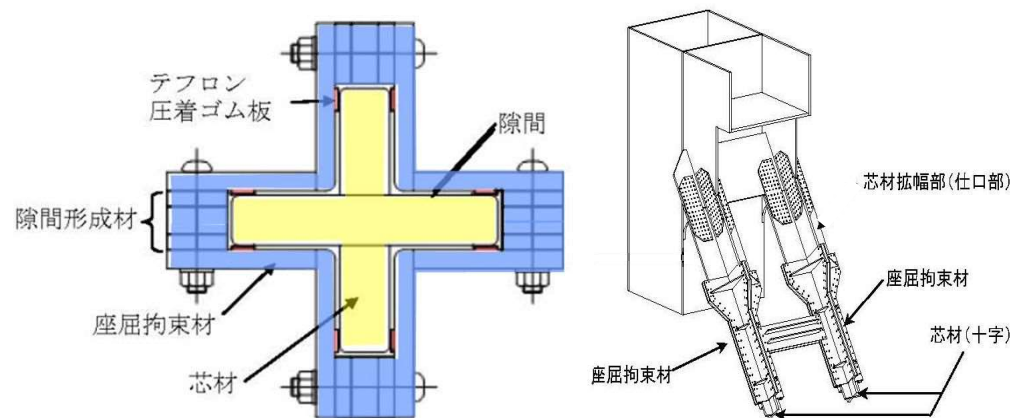
フッ素樹脂コートステンレス板（上）
繊維強化熱硬化樹脂（下）

「損傷制御設計」のコンセプトを導入し、大規模地震に対して
損傷を許容する部材を決め、当該部材で地震エネルギーを吸収



芯材に低い降伏点を有する鋼材(LY225)を採用、併せて軸力による座屈などの有害な変形が生じないように**座屈拘束材**を芯材の外部に配置

■ 構造（断面図、設置図）

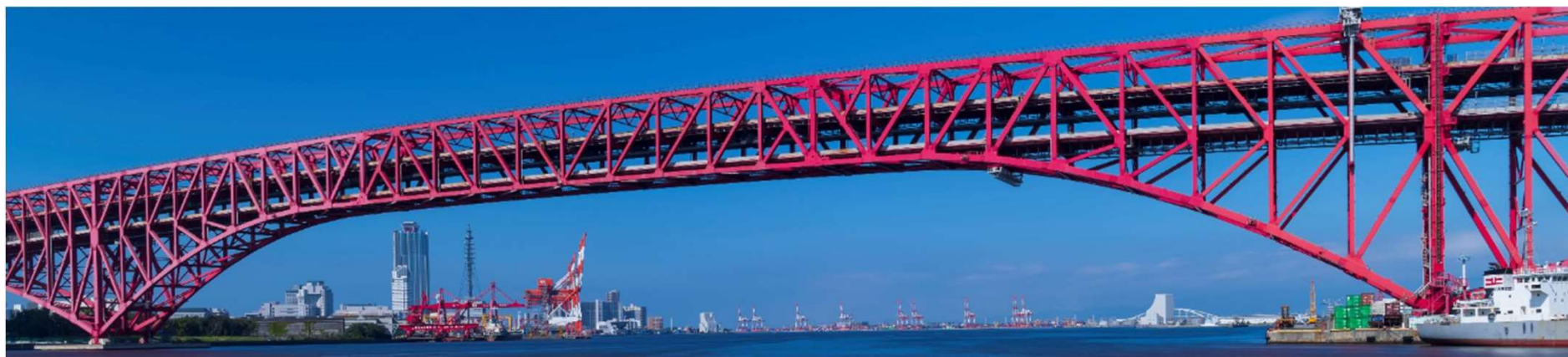


既設ブレースを安全に交換するため
半割にして1本ずつ設置

施工後



維持管理



港大橋の塗装仕様(建設時)



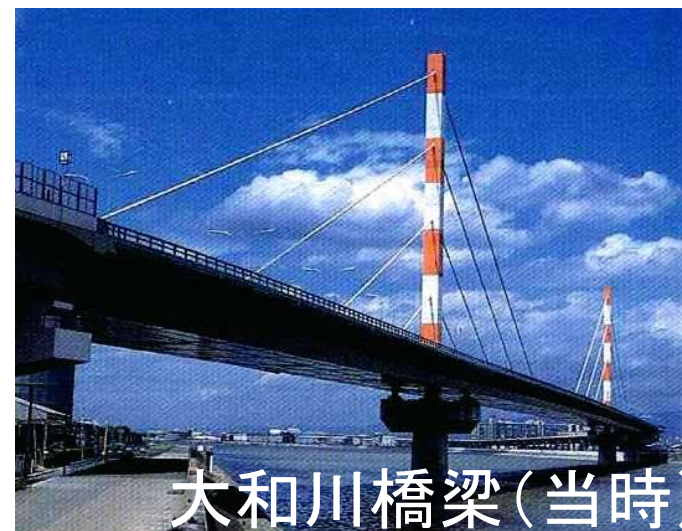
港大橋の色彩は、景観性を重視し、航空法との関連により赤色に決定。

表－1 建設時塗装系

	塗装工程	種別	塗布量 (g/m ²)	膜厚 (μ)
	素地調整			
	1次プライマー	ウォッシュプライマー	100	10
工場 塗装	さびの補修			
	下塗り(1)	亜酸化鉛1種	140	35
	下塗り(2)	亜酸化鉛2種	140	35
	中塗り	MIO	220	50
現場 塗装	上塗り	塩化ゴム(中)	150	30
	上塗り	塩化ゴム(上)	140	25

当初の塗装系は塗装性能などに配慮し、塩化ゴム系を採用。

工場塗装の範囲はMIOまでとし、塩化ゴム系塗料を現場で2回塗り。
(吊桁部は上塗りまで工場塗装)



大和川橋梁(当時)

港大橋の塗装仕様の変遷



昭和61年度から平成3年度にかけてポリウレタン系塗装に塗替え

区分	塗料名	使用量 (g/m ²)	膜厚 (μ)
補修部	厚膜形エポキシ樹脂塗料 下塗	200	50
下塗り(1)	厚膜形エポキシ樹脂塗料 下塗	200	50
下塗り(2)	厚膜形エポキシ樹脂塗料 下塗	200	50
増塗り部	厚膜形エポキシ樹脂塗料 下塗	200	50
中塗り	ポリウレタン樹脂塗料 中塗	140	30
上塗り	ポリウレタン樹脂塗料 上塗	120	25

昭和61年度に南港側で試験塗装工事を実施

ゴンドラや格点足場、固定足場を用いて塗装を実施

平成13年度から平成22年度にかけてふっ素系塗装に塗替え

区分	塗料名	使用量 (g/m ²)	膜厚 (μ)
素地調整	G-e(一般)		
(補修塗)	(変性エポキシ樹脂塗料弱溶剤 下塗)	(240)	(60)
第1層	変性エポキシ樹脂塗料弱溶剤 下塗	240	60
第2層	変性エポキシ樹脂塗料弱溶剤 下塗	240	60
第3層	ふっ素樹脂塗料用 中塗	140	30
第4層	ふっ素樹脂塗料 上塗	120	25

トラス上下弦材下面部には、変性エポキシ樹脂の下塗塗装を1層追加

区分	塗料名	使用量 (g/m ²)	膜厚 (μ)
素地調整	G-e(一般)		
(補修塗)	(変性エポキシ樹脂塗料弱溶剤 下塗)	(240)	(60)
第1層	変性エポキシ樹脂塗料弱溶剤 下塗	240	60
第2層	超厚膜形エポキシ樹脂塗料 下塗	500	150
第3層	超厚膜形エポキシ樹脂塗料 下塗	500	150
第4層	変性エポキシ樹脂塗料弱溶剤 下塗	240	60
第5層	ふっ素樹脂塗料用 中塗	140	30
第6層	ふっ素樹脂塗料 上塗	120	25

腐食が生じやすい添接部では、超厚膜型エポキシ樹脂塗料を適用



➤ 継手部腐食補修（ボルト頭部が山形に減肉）

■ 補修工法の検討

補修条件

- ボルトの取替に伴う応力伝達が円滑
- 港大橋では超高張力鋼が多用されているため、溶接・切断に伴う入熱を極力回避
- 補修箇所が多く、箱断面トラス部材の内部で狭隘なため、大規模な補修工事が困難。



補修



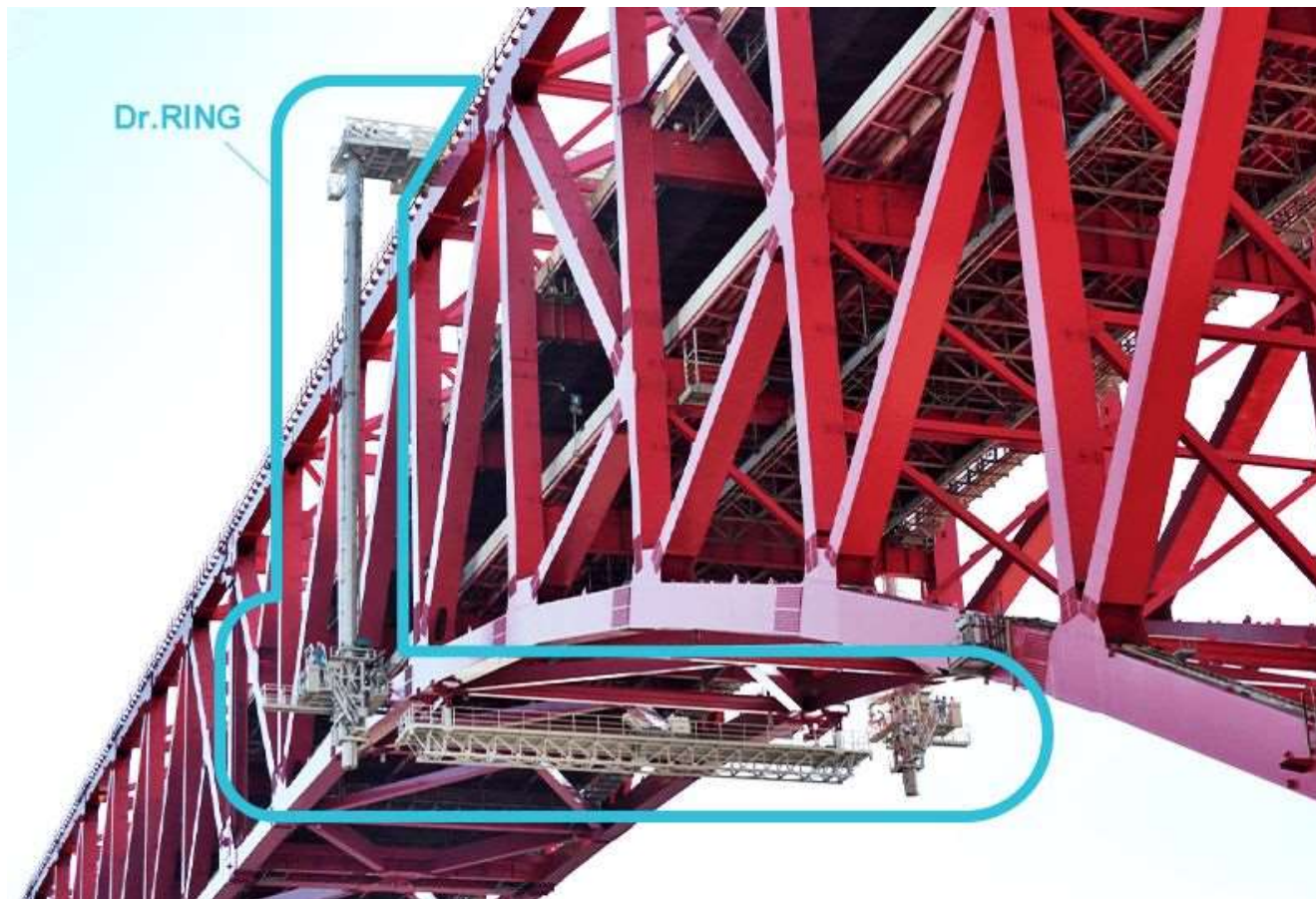
腐食減肉した既設添接板に対して、短冊状の新設補強板を重ね合わせて増厚補強する
補強添接板工法を採用



維持管理デバイス「Dr.RING」



- 「Dr.RING」は、港大橋の橋梁点検を目的とした維持管理でデバイスで、維持管理の計画性、確実性、安全性に加え、交通影響の抑制に貢献
- 構造部材全体の80 %以上に及ぶ見附面積188,000 m²以上に近接可能
- Dr.RINGそのものの維持管理性にも考慮し、主構造部材にアルミニウム合金鋼材とステンレス鋼材を採用し、長期の使用に耐えうるよう考慮している



2016年3月
運用開始

〈座談会〉技術者たちの想い



〈座談会〉技術者たちの想い



50TH
ANNIVERSARY

港大橋開通50周年記念座談会
技術者たちの想い

- 1974年 土木学会 田中賞
- 1974年 土木学会 技術賞
- 1974年 建設大臣表彰
- 1974年 天皇賜杯(銀杯)
- 1974年 大阪市長感謝状
- 2007年 土木学会 田中賞
- 2008年 日本鋼構造協会 協会賞
- 2017年 土木学会関西支部 浪速の名橋50選に選定
- 2024年 土木学会 選奨土木遺産に選定



ご清聴、ありがとうございました



阪神高速道路株式会社 技術部 技術開発担当部長 桐間幸啓