

土 木 研 究 所 資 料

水郷大橋動的特性調査 —強震観測システム—

昭和61年 5 月

建設省土木研究所
地震防災部耐震研究室

Copyright © (1986) 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、複写は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

水郷大橋動的特性調査 — 強震観測システム —

耐震研究室 室長 川島 一彦
研究員 運上 茂樹
吾田 洋一

要 旨

近年、大規模特殊事業関連の道路において長大スパンの斜張橋が採用される事例が急増している。これは、斜張橋が従来の吊橋と連続桁橋の中間の特性を有し、吊橋のように巨大なアンカー基礎を必要とせず、軟質な地盤上に建設される長大橋として構造的に適しているとともに橋梁技術の進歩に伴い、長大スパン化が可能となったためである。しかしながら、斜張橋に対しては、従来震害経験がなく、また、強震観測等による動的特性の把握も十分でないのが実情である。

本システムは、斜張橋の地震応答特性の調査及び斜張橋の動的特性を取り入れた耐震設計法の開発を目的として、一般国道51号が、1級河川利根川を渡る千葉・茨城両県境に架設されている建設省関東地方建設局管内の水郷大橋に設置したものであり、本報告は、その概要をとりまとめたものである。

キーワード：斜張橋，水郷大橋，強震観測，耐震設計

目 次

1. 概 要	
1.1 目 的	1
1.2 水郷大橋の概要	3
2. 地震観測システム	8
2.1 基本設計	8
2.2 観測システム	9
3. 強震計の設置	22
4. 振動実験及び予備解析	30
謝 辞	36
参 考 文 献	37

1. 概 要

1.1 目 的

近年、大規模特殊事業関連の道路において、長大スパンの斜張橋が採用される事例が急増している。これは、斜張橋が軟質な地盤上に建設される長大橋として構造的に適しているとともに、橋梁技術の進歩に伴い、長大スパン化が可能となったためである。

斜張橋は、構造的に従来の吊橋と連続桁橋の中間の特性を有するものである。構造的には、吊桁を主塔を介した斜めケーブルで吊り、補剛するといういわゆる自定式構造であり、吊橋のような巨大なアンカー基礎を必要とせず、また、桁の構造、塔の形状、ケーブルの配置等それぞれについて多様な構造系をとり得ることが特徴として挙げられる。

斜張橋は、1950年以降その有利性、確実性が確かめられ、ドイツを中心としてその建設が広まった。我が国においても、その経済性及び力学的合理性が認められ、1960年の勝瀬橋（中央支間128m）をはじめとして、1968年の尾道大橋（中央支間215m）、1975年の末広大橋（中央支間250m）等年々スパンの長大化が進んでいる（表1.1参照）。また、美観的にも優れていることから長大橋梁に限らず、横断歩道橋等今後ますます建設されていくことが予想される。また、我が国における斜張橋は鋼斜張橋が主流を占めているが、最近では、PC橋のメリットを生かしたPC斜張橋の建設も進みつつある状況である。

しかしながら、斜張橋に対しては、従来震害経験がなく、また、強震観測等による動的特性の把握も十分でないのが実情であり、早急に斜張橋の動的特性を取り入れた耐震設計法の開発が必要とされている。斜張橋の設計において、地震の影響が支配的となるのは、一般に塔基部及び下部構造であり、また、上部構造から下部構造に伝達される地震力を求めるためには、上部構造系の全体としての振動を評価することが重要である。また、上述のように斜張橋は、吊り構造系、基礎構造物系、タワー系、ケーブル系とそれぞれ異なる構造系から構成されており、このため、地震時には、それぞれの系の独自の振動が入り混じった複雑なものとなり、低次の振動のみならず、高次の振動モードが全体の応答に寄与する場合が多い。斜張橋の耐震計算では、修正震度法と動的解析の両者を行い、最終的には前者にややウェイトを置いた判断が行われる場合が多いが、斜張橋のように振動特性の大きく異なる構造要素からなる構造物に修正震度法を適用するに際しては、全体の振動特性をよく検討した上で震度を定めることが重要であると考えられる。

本工事は、以上のような観点から、斜張橋の地震応答特性の調査を目的として一般国道51号が1級河川利根川を渡る千葉・茨城両県境に架設された水郷大橋に強震計を設置し、強震観測を開始したものであり、本報告は、その概要をとりまとめたものである。

表 1.1 長大斜張橋計画（一部工事中）一覧表

橋 梁 名	所 在 地	実施(調査)機関	橋長(中央経間)	橋 梁 諸 元			事業化予定(完成予定)	橋 費
				補 剛 桁	塔	ケ ー ブ ル		
横浜港 横断橋 (工事中)	横 浜 市	首都高速道路公団	L = 860 m (460 m) 200 + 460 + 200	トラス(ダブルデッキ) W = 39 m, H = 12 m 12車(6 + 6) 22,000 t	H 型 H = 172 m 13,000 t	11段 2面吊 ファン型 最大径 200 m/m 2,200 t	S 55・11(工事着手) S 64年度完成予定	(1期 37,200 t) (2期 5,600 t) 総鋼重 約 42,800 t
東神戸水路橋	神 戸 市	阪神高速道路公団	L = 885 m (485 m) 200 + 485 + 200	トラス(ダブルデッキ) W = 16 m, H = 9 m 6車(3 + 3) 13,800 t	H 型 H = 150 m 7,400 t	12段 2面吊 ハープ型 最大径 180 m/m 1,300 t	S 60年度着工予定 S 65～67年度完成予定	比較案 — 無し (その他 2,900 t) 総鋼重 約 25,400 t
鶴見航路橋	横 浜 市	建設省 東京湾岸道路 調査事務所	L = 1020 m (510 m) 255 + 510 + 255	偏平六角形断面 W = 39.75 m, H = 4.5 m 6車×2 23,200 t	A 型 H = 160 m 9,800 t	13段 2面吊 ファン型 ケーブル構成φ7×367 1,700 t	S 61年度事業化予定 S 69年度完成予定	比較案 — 無し 総鋼重 約 34,700 t × 2
生 口 橋	広島県豊田市～因島市 (尾道・今治ルート)	本 四 公 団	L = 790m (490m) 150 + 490 + 150	中央支間 鋼2ボックス 側支間 コンクリート4ボックス W = 20 m, H = 2.5 m 鋼重 約 10,000 t コンクリート量 約 8,000 m ³	A 型 H = 116m 鋼重 —	14段 2面吊 ファン型 ケーブル構成 — 鋼重 —	S 60年度事業化決定	比較案 — 無し 総鋼重 —
神戸港横断部 第3航路橋	神 戸 市	建設省 阪神国道	L = 1230 m (650 m) 290 + 650 + 290	逆台形六角断面 W = 31.25 m, H = 3.5 m 6車 20,600 t	A 型 H = 200 m 12,400 t	19段 2面吊 ファン型 ケーブル構成φ7×421 2,800 t	事業化年度 ——未定	比較案 — 沈埋案 (検討経緯) (有り) 総鋼重 約 35,800 t
名港中央大橋	名 古 屋 市	建設省 名 四 国 道	L = 1170 m (590 m) 290 + 590 + 290	逆台形六角断面 W = 30.0 m, H = 3.5 m 6車 15,300 t	A 型 H = 170 m 8,900 t	17～19段 2面吊 ファン型 ケーブル構成φ7×301 2,300 t	S 61年度事業化予定 S 69年度完成予定	比較案 — 無し 総鋼重 約 26,500 t

1.2 水郷大橋の概要

強震計を設置した水郷大橋は、図 1.1 に示すように一般国道 51 号が利根川を渡る千葉県佐原市と茨城県稲敷郡東村の間に架設されている橋長 535.25 m の橋梁である。昭和 11 年に架設されたゲルバートラス橋を主径間とする旧橋は、当時の代表的な橋梁であったが、年毎に増加する重車輛等のために老朽化が著しくなっており、また、この地区は、北に鹿島臨海工業地帯、南に京葉工業地帯及び新東京国際空港を控え、今後大幅な交通量の増加が予想されるため、旧橋の上流約 300 m に新しい橋梁をかけることとなった。事業費約 50 億円を費して、昭和 48 年 10 月着工、昭和 52 年 3 月完成、同年 4 月 20 日、一般交通に供用開始された。

水郷大橋の構造概要を表 1.2 に、一般図及び下部構造図をそれぞれ、写真 1.1、写真 1.2、図 1.2、および図 1.3 に示す。水郷大橋架設地点は、支持層 40 ～ 50 m と地盤条件が悪く、河川条件も非常に厳しいため、下部工には、施工性を考えた大規模な仮締切兼用鋼管矢板井筒基礎が採用された。また、上部工は 2 径間連続非対称、耐風性を考慮した逆台形 3 室箱桁断面を有する主桁とこれに剛結された 2.8 m × 2.5 m の単室断面のフレキシブルタワーからなり、PPWS が用いられたケーブルは、ハープ型 3 段に張られ、ケーブルと主塔とは上段可動、中・下段固定の構造が採用されている。

表 1.2 水郷大橋構造概要

路 線 名	一般国道 51 号（千葉県千葉市～茨城県水戸市）	
河 川 名	一級河川 利根川	
工 事 箇 所	自 千葉県佐原市 至 茨城県稲敷郡東村	
橋 の 等 級	一等級（TL-20）	
橋 長	535.25 m	
斜 角	83° 53' 00"	
最大支間長	178.85 m	
最小支間長	80.9 m	
道路幾何構造	道路構造令 3 種 1 級 車道部 7.75 m × 2 + 歩道部 2.5 m × 2 = 20.5 m （第一期基本幅員 10.25 m） 横断勾配 2%，縦断勾配 0.2% 直線勾配 （一部放物線勾配）	
上部構造	主径間	2 径間連続鋼床版斜張橋一連 （178.85 + 111.6 = 290.45 m）
	側径間	3 径間連続鋼床版箱桁橋一連 （80.9 m @ 3 = 242.7 m）
下構造部	橋 台	RC 逆 T 型橋台、鋼管杭基礎 2 基
	橋 脚	RC 逆 T 型橋脚、鋼管井筒基礎 4 基（小判型）
設計震度	K _H = 0.24	

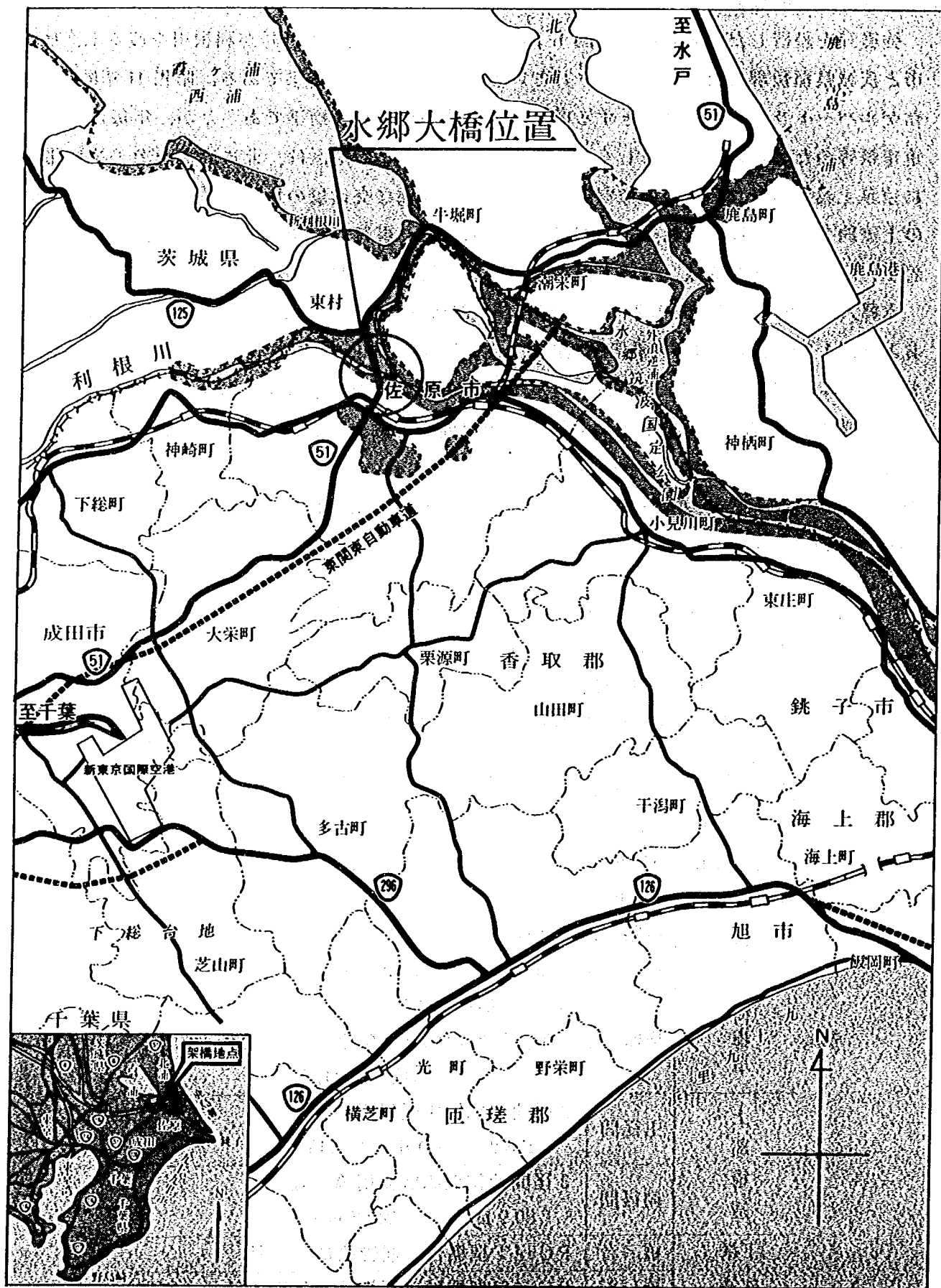
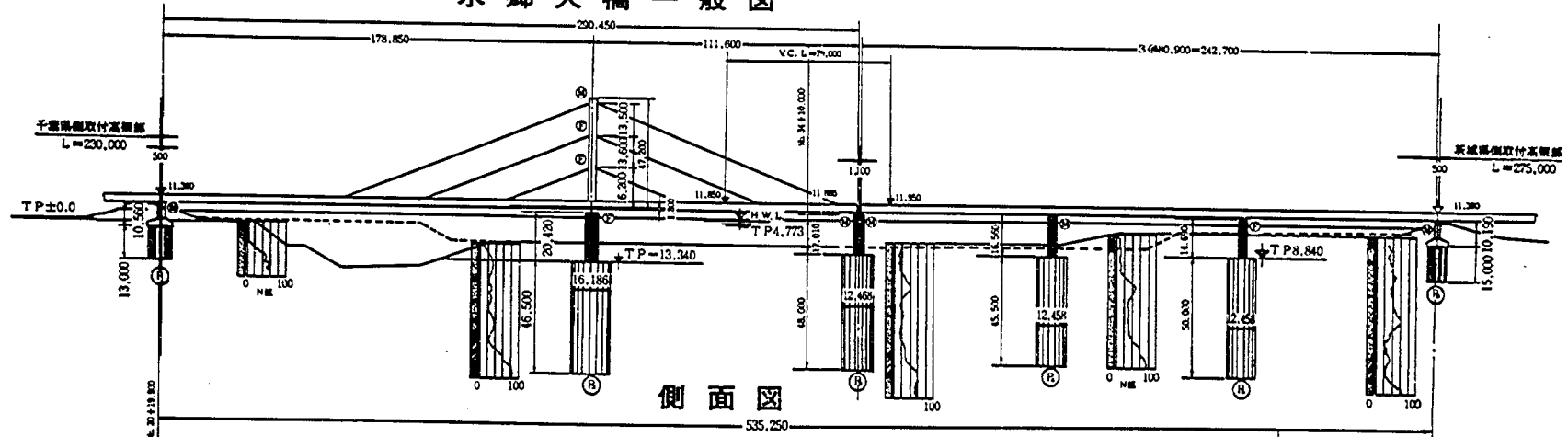
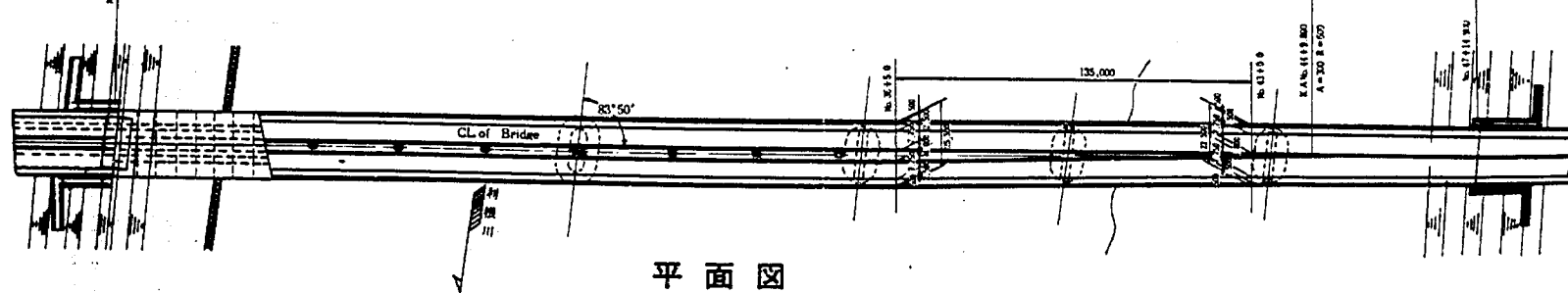


図1.1 架橋位置

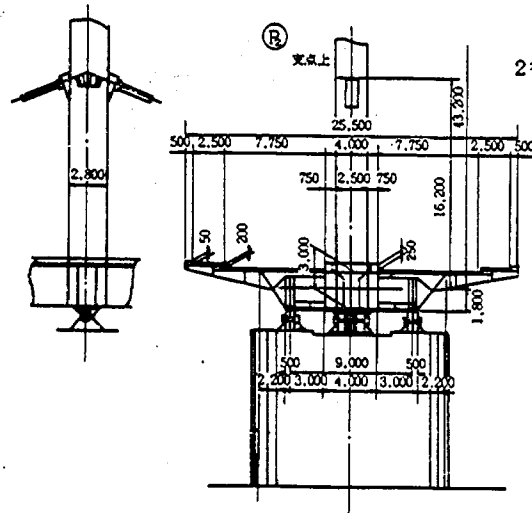
水郷大橋一般図



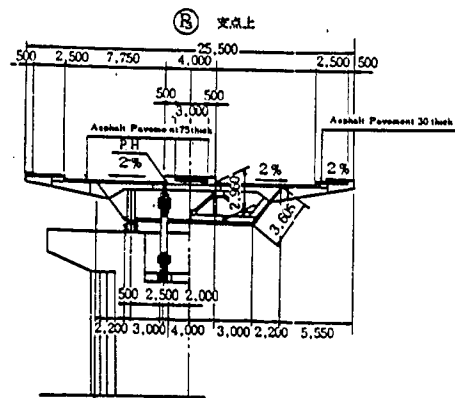
側面図



平面図



2径間連続鋼床版斜張橋



断面図

3径間連続鋼床版箱桁橋

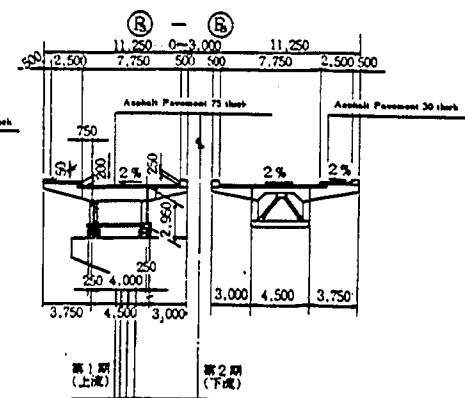


図 1.2 水郷大橋一般図

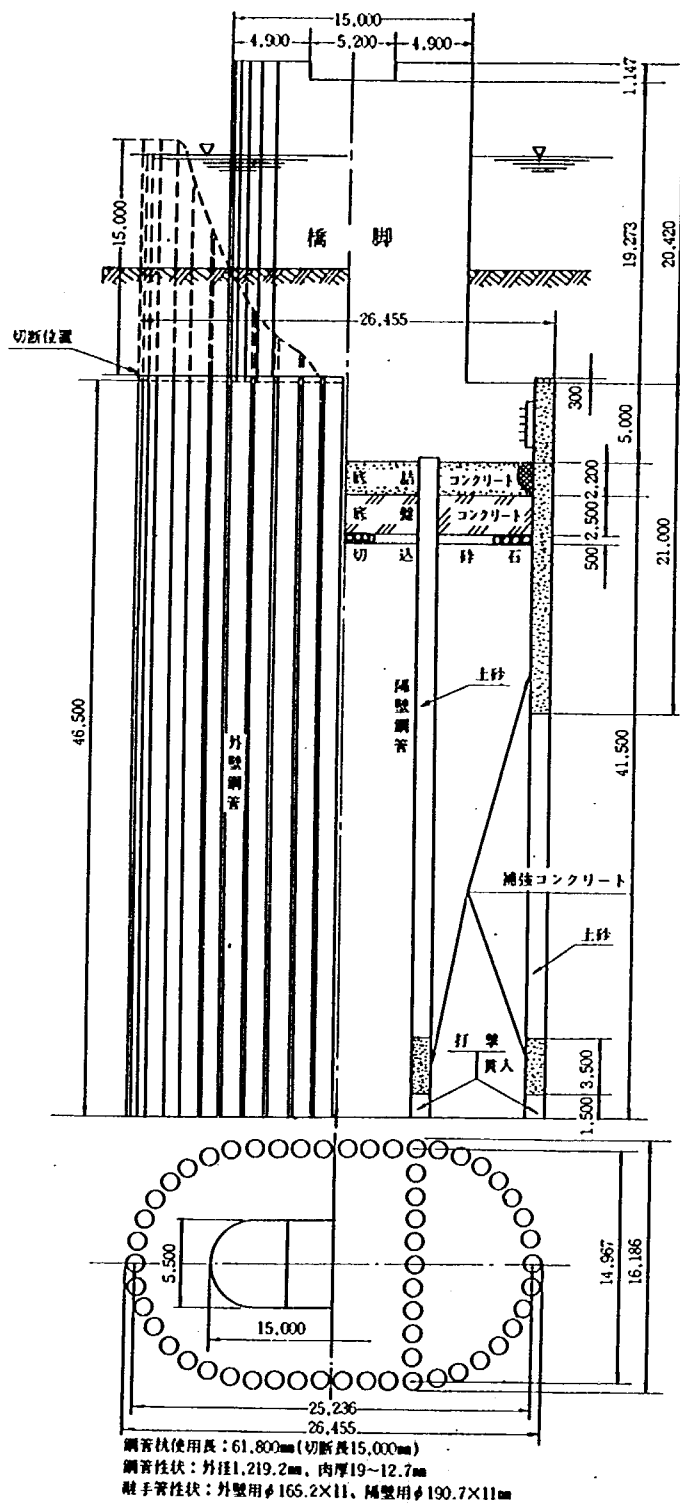


図 1.3 下部構造 (鋼管井筒基礎, P₂)

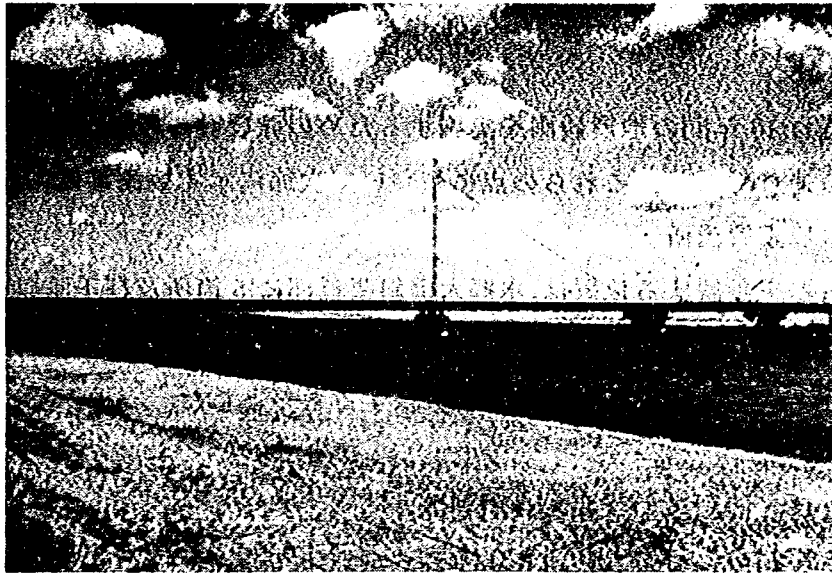


写真 1.1 水郷大橋

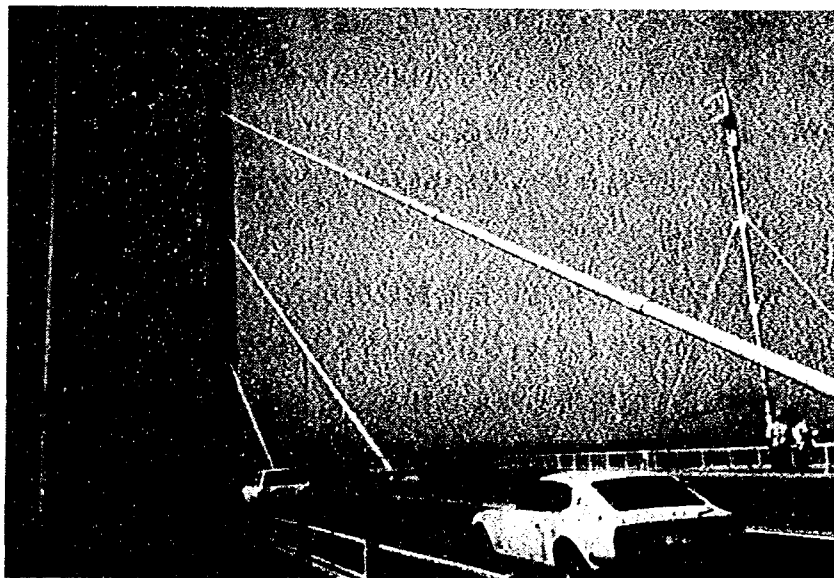


写真 1.2 水郷大橋

また、この水郷大橋においては、昭和 52 年度「土木学会田中賞（作品部門）」（鋼及びコンクリート等の橋梁及びそれに関連した構造物で計画、設計、施工或いは美観の面において優れたものを対象）の栄誉を受賞している。

水郷大橋は、現在暫定 2 車線供用状態であるが、側径間部及び取付高架橋部においてまもなく上部工の架設が完了し、片側 2 車線の 4 車通行となる予定となっている。

2. 地震観測システム

2.1 基本設計

水郷大橋の概ね 10 年間の地震観測を実施するための強震計の仕様を決定するに際して考慮した事項は以下の通りであり、これらの点に基づいて次節に示す観測機器を設定した。

(1) 加速度換振器設置箇所

加速度換振器を設置する位置は、水郷大橋斜張橋部に 5 箇所及び千葉県側取付高架部の P₁ 基礎付近の地盤中に 1 箇所の計 6 箇所とした。各測定箇所では、橋軸方向及び橋軸直角方向の水平 2 成分、計 12 成分の加速度記録を収録するものとした。

(2) 記録方式

強震観測では、観測点相互間で時間軸のそろった記録を得ることが必要である。記録方式としては、各観測点に対して共通とする方式（以下、集中記録方式と呼ぶ）と、観測及び記録は、個々の観測点ごとに独立であるが、それぞれの観測点での絶対時間を知るか、もしくは時間の連動を計ることにより同期をとる方式（以下、個別記録方式と呼ぶ）がある。両者には、それぞれ得失があるが、今回のように一橋梁に強震計を設置する場合、どちらの方式にしても、観測小屋の設置、電源、保守点検等の関係から、データ集録装置を 1 箇所に置き、観測小屋と各換振器間にケーブルを敷設しなければならない。このため、最終的には、保守及びデータテープ交換の容易さ等から集中記録方式を採用することとした。

(3) 周期範囲および分解能

地震動には、数 KHz の非常に高い振動数成分から、地球の 1 次固有周期に相当する 53.5 分の超長周期成分までが含まれている。このうち、土木工学の分野で必要とされるのは、 $\frac{1}{30}$ 秒（30 Hz）～ 10 秒程度の範囲と考えられる。これは、例えば長大吊橋の 1 次固有周期をみると、明石海峡大橋（案）のタワーの固有周期が約 10 秒となり、10 秒を超える長周期が問題となる可能性のあること、また、構造物の部材の中には、固有振動数が 30 Hz 程度に達するものもあることが理由として挙げられる。水郷大橋の振動実験によれば、たわみ振動 1 次固有振動数が、0.454 Hz であることから、上記の周期範囲をカバーできるものであれば十分であると考えられる。

また、既往の地震動及び構造物の強震観測によれば、最大加速度が、1000 gal を超す例も報告されており、1000 gal 程度を見込む必要があると考えられる。一方、周期 10 秒の地震動を考慮するためには、最小 0.1 gal 程度までの加速度の測定が可能であることが必要と考えられる。従って、観測には少なくとも 10^4 のダイナミックレンジが必要となる。

(4) サンプルングタイム

30 Hz までの地震動を確実に集録するためには、1 波長内の記録数を多くすることが必要とされる。1 波長内の記録数を 7 回以上と見込むとサンプルングタイムは、約 200 Hz 以上とする必要がある。本強震計では、100 Hz もしくは 200 Hz のサンプルングタイムの選択が可

能であるようにした。

(5) 記録時間

1回の記録時間を2分程度と見込み、 $2分 \times 15回 = 30分$ 以上の記録が可能である必要がある。

(6) 起動時間

起動時間がわかるように水晶時計を内蔵した構造で、時計は、NHK ラジオの時報等による自動校正が可能である必要がある。

(7) 停電対策

商用電源の瞬断に備えるためにバッテリー装置を持ち、その容量は、停電24時間後において最低30分の記録が可能なものである必要がある。

(8) ケース

長期間の現地観測に耐え得るために強震計のケースは堅牢で記録の採取及び点検等が可能な構造である必要がある。

2.2 観測システム

以上のような考え方にに基づき、水郷大橋地震観測装置のシステム構成を決定した。地震観測システム全体構成は、図 2.1 及び図 2.2 に示すように水郷大橋の塔および桁内に取り付けられた地上用加速度換振器 5 台、および千葉県側取付高架橋 P-1 基礎近傍の地中に埋め込まれた地中用加速度換振器 1 台の計 6 台、水郷大橋千葉県側端部橋台上に設置された観測小屋内の増幅器、集録装置、無停電電源装置から構成される。ここで、加速度換振器と集録装置の間は、ケーブルを敷設した。地震記録集録装置は、マイクロプロセッサ制御により各種データをデジタル値で集録する装置であり、図 2.3 に示すように AD コンバータ、遅延装置、カートリッジ式磁気テープ記録装置、スターター装置、自動校正水晶時計、モニター再成用 8CH DA コンバータから構成される。

本強震計の仕様は、以下に示す通りである。

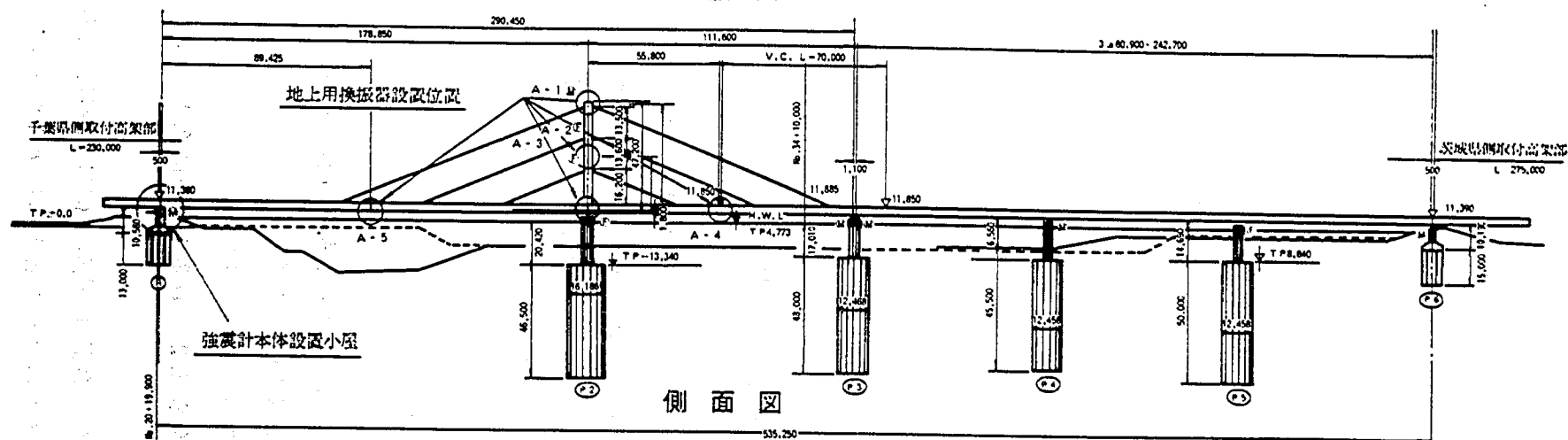
(1) 加速度換振器

加速度換振器は、橋軸方向及び橋軸直角方向の水平 2 成分の加速度を電気信号として検出するものであり、地上用、地中用共に換振器本体は共通である。換振部は、速度帰還方式のサーボ型加速度計を用いており、その主要特性を表 2.1 に示す。また、その外観を写真 2.1 に示す。また、加速度計の各種検定結果を表 2.2 ～ 表 2.4 及び図 2.4 に示す。

(2) 強震記録装置

強震記録装置は、6 台の加速度換振器から合計 12 成分の信号を受け、これを AD 変換器により数値化した後、自動時刻校正されたタイムコードとともにデジタルカートリッジ式磁気テープに記録するものである。AD 変換は、12 bit AD 変換装置を用いて $\frac{1}{100}$ 秒間隔で行う。

水郷大橋一般図



側面図

千葉県側取付高架橋一般図

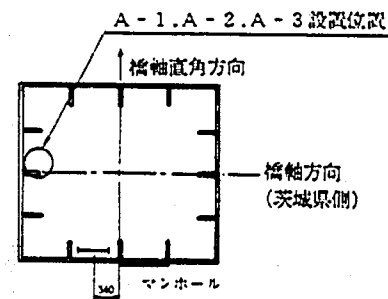
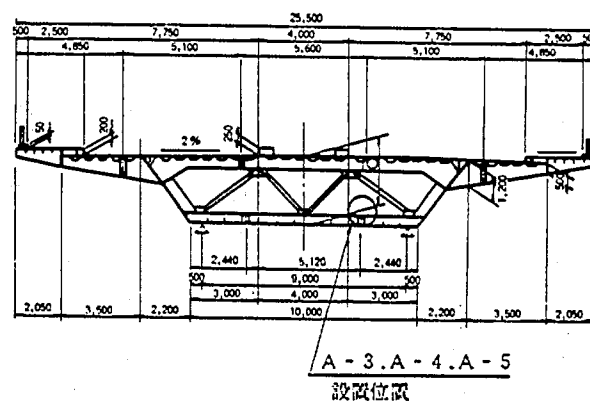
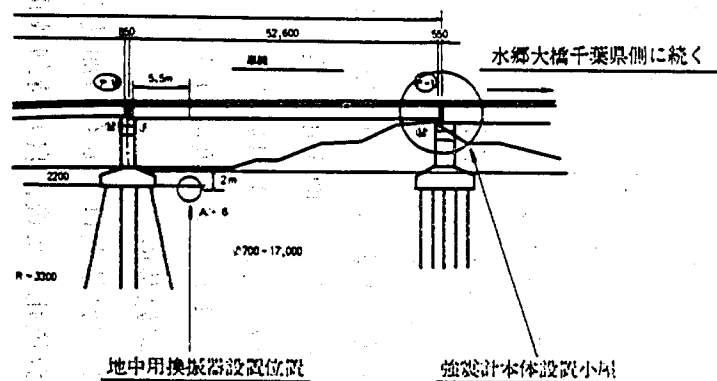


図 2.1(1) 加速度換振器設置位置

P-1 橋脚一般構造図

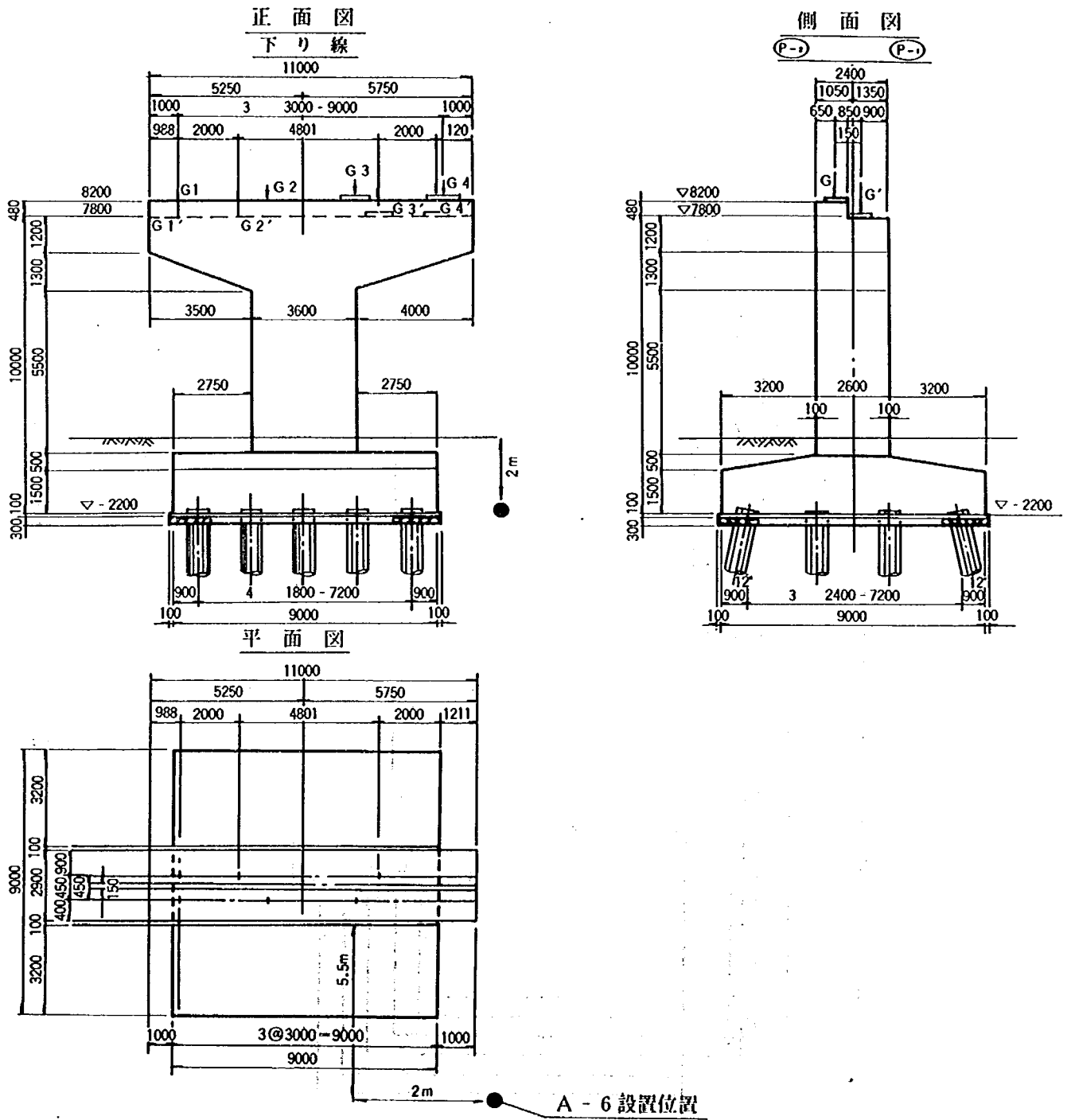


図 2.1(2) 地中用換振器設置位置

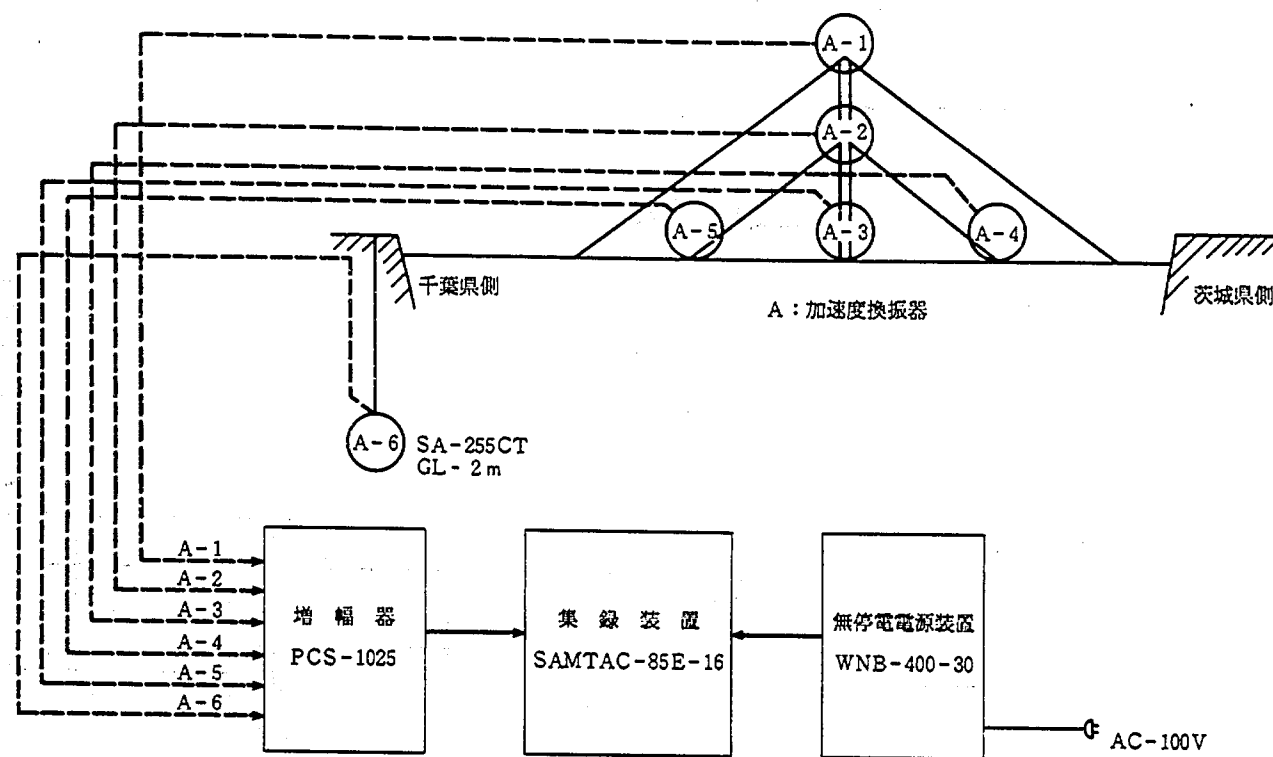


図 2.2 地震観測システム全体構成図

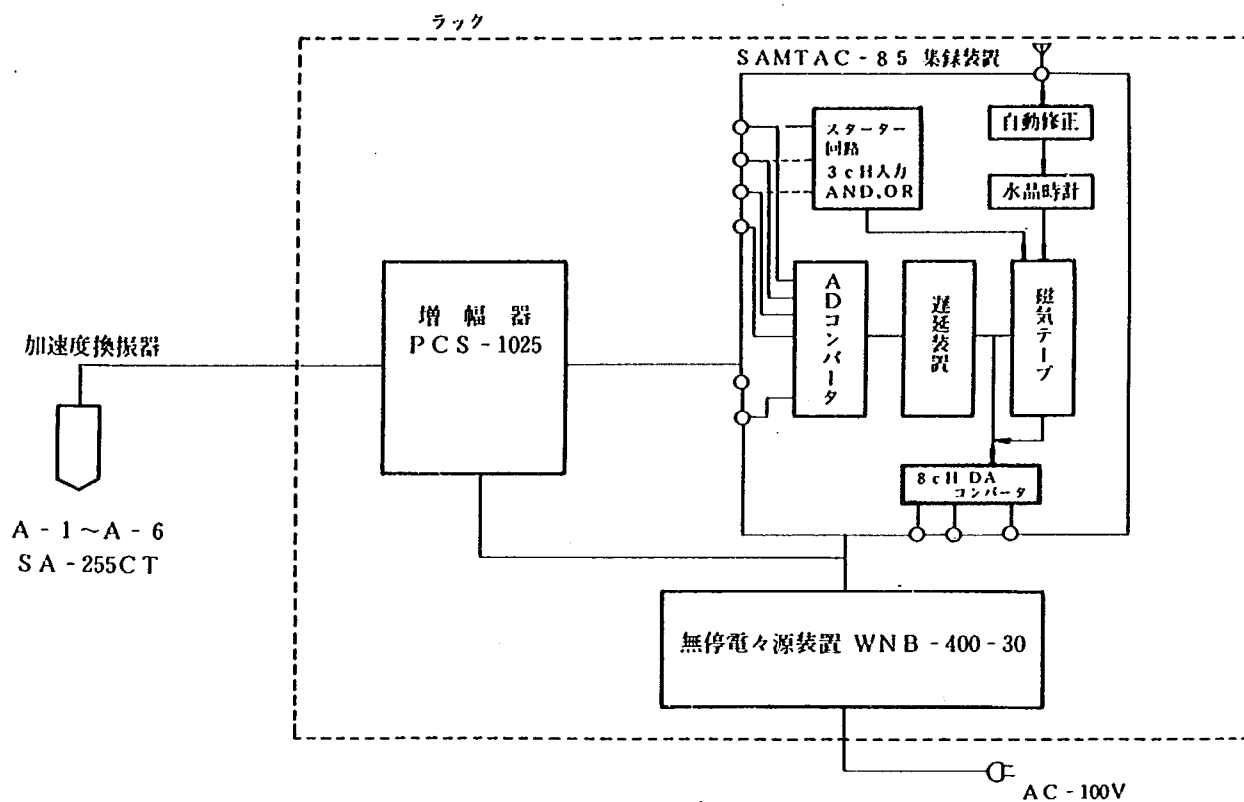


図 2.3 地震記録集録装置構成図

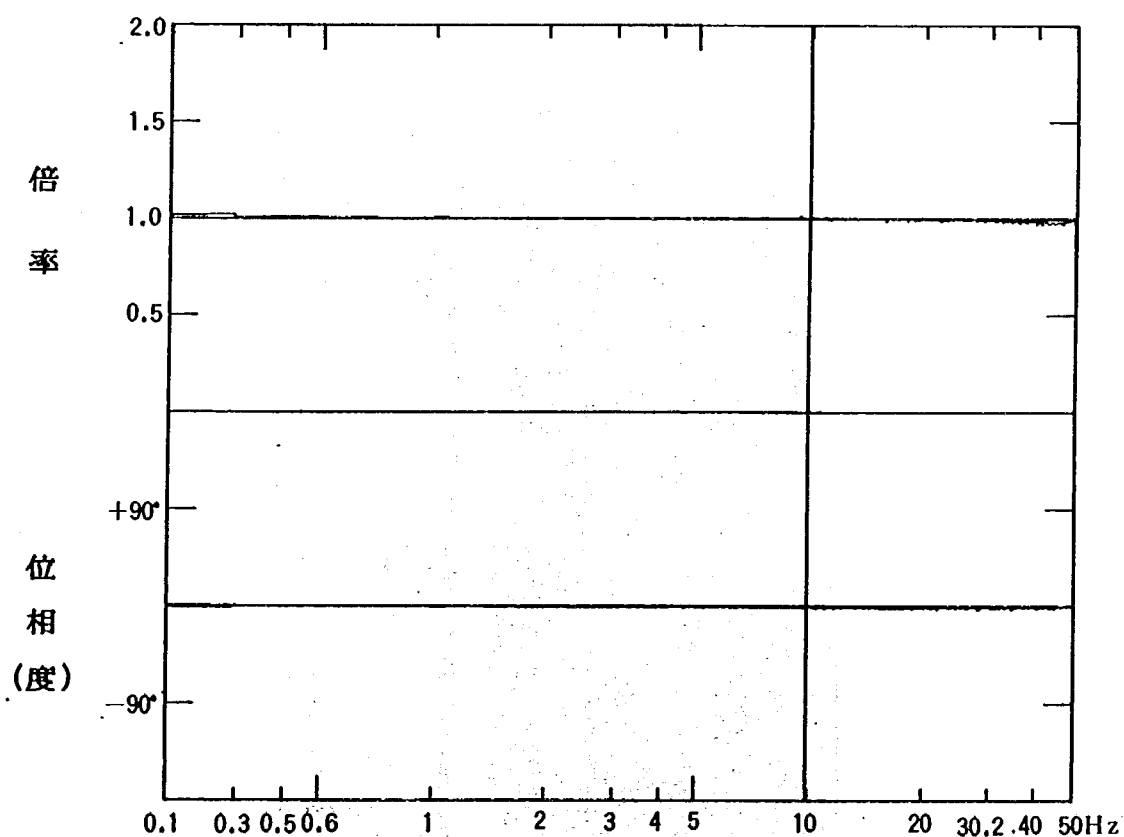


図 2.4 加速度計周波数応答, 位相感度
(塔頂部加速度計, SA - 255 CT (X), № 86008)

表 2.1 加速度換振器の主要特性

サ ー ボ 型 加 速 度 計		
型 式	SA — 255 CT	
成 分	水平 2 成分	
感 度	15 μ A/gal	
周 波 数 特 性	0.1 ~ 35 Hz	
帯 域 内 感 度 差	$\pm 2\%$ 以下	
位 相 差	± 5 度 以下	
減 衰 定 数	30 以上	
固 有 振 動 数	.5 Hz	
ケ ー ス 耐 水 圧	30 気圧以上	
感 度 の 温 度 係 数	$5 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ 以内	
設 置 誤 差 角 度	5 度 以内	
最 大 埋 設 深 さ	300 m	
外 形 寸 法	$\phi 80 \times 351$ mm	
重 量	6 kg	



写真 2.1 加速度換振器

表 2.2 加速度計感度位相差検定結果

形 式 ・ 製 造 番 号	方向 成分	周波数 (Hz)	伝達関数変動率		位 相 角	
			許 容 範 囲 (%)	測 定 値 (%)	基準値(度) 許容範囲	測 定 値 (度)
SA - 255CT 86008 (塔頂部設置)	X	0.1	± 5	2.050	± 8	-0.340
		10.0	± 3	0.580	± 5	-0.450
		35.1	± 3	-0.879	± 5	-2.021
	Y	0.1	± 5	3.710	± 8	-0.120
		10.0	± 3	2.000	± 5	-0.450
		35.1	± 3	2.580	± 5	-0.120
	Z	0.1	± 5	—	± 8	—
		10.0	± 3	—	± 5	—
		35.1	± 3	—	± 5	—

表 2.3 加速度計試験結果

計 器 型 式	SA - 255CT		
製 造 番 号	86008		
絶 縁 抵 抗	100 MΩ (500 Vメーターにて測定)		
耐 水 圧 試 験	20 kg/cm ² 1 時間加圧後の絶縁検査100MΩ		
コイル抵抗	X	検 出 コ イ ル	1775 Ω
		制 動 コ イ ル	208 Ω
		検 定 コ イ ル	537 Ω
	Y	検 出 コ イ ル	1775 Ω
		制 動 コ イ ル	210 Ω
		検 定 コ イ ル	540 Ω

表 2.4 加速度計直線性試験結果 (塔頂部加速度計, SA-255CT (X), No 86008)

基 準 振 幅 値		基準加速度値	供 試 振 幅 値		供試加速度値	供試加速度値 基準加速度値	加 振 f
22.9 ^{mm}	45.8 ^{mV}	9.1 ^{gal}	22.7 ^{mm}	45.4 ^{mV}	9.0 ^{gal}	98.9 [%]	2 (Hz)
25.0	125.0	25.0	24.8	124.0	24.8	99.2	"
25.4	508.0	101.6	25.3	506.0	101.2	99.6	"
26.3	1315.0	263.0	26.0	1300.0	260.0	98.8	"
25.0	50.0	10.0	25.0	50.0	10.0	100.0	10 (Hz)
24.7	123.5	24.7	24.3	121.5	24.3	98.3	"
25.0	500.0	100.0	25.0	500.0	100.0	100.0	"
25.3	1265.0	253.0	25.1	1255.0	251.0	99.2	"
25.3	2530.0	506.0	25.1	2510.0	502.0	99.2	"
25.1	5020.0	1004.0	25.0	5000.0	1000.0	99.6	"

時計機能は、マイクロコンピュータ制御によるオートカレンダー方式の水晶時計を用いており、NHKラジオの時報により 0.01 秒の誤差内で自動校正で行う。

また、商用電源の瞬断に備えるために、強震計の電源にフローティング形式のバッテリーを使用し、バッテリーの容量は電源の切断後 24 時間の待期後に 30 分間の記録が可能であるように定めた。

起動は、地中に設置した加速度換振器で感知された加速度が 0.8 gal (可変) 以上になった瞬間にかかり、入力信号が起動レベル以下になってから 30 秒間の記録を継続する。また、起動は地中の加速度換振器の 2 成分のうち、どちらかでも起動レベル以上になった場合にかかるものとした。

遅延装置は、32 Kバイトメモリーを有し、サンプリング間隔 100 Hz, 16 CH の時、遅延時間は 10 秒である。

加速度増幅器、ディジタル集録装置及び無停電電源装置の主要特性をそれぞれ表 2.5 ~ 表 2.7 に示す。また、その外観を写真 2.2 ~ 写真 2.4 に示す。

また、それらの詳細な特性を表 2.8 ~ 表 2.13 に示す。

表 2.5 加速度増幅器の主要特性

加 速 度 用 増 幅 器	
型 式	PCS - 1025
感 度	10 mV/gal
測 定 範 囲	0.03 ~ 1000 gal
校正レベル設定範囲	0 ~ 1000 gal
確 度	誤差 0.3 %以下
周 波 数	10.24 Hz
周 波 数 確 度	10^{-4} 以上
信 号 波 数	正 弦 波 (歪率 1 %以内)
出 力 信 号	定電流方式 (15 μ A/gal)
信 号 発 生 回 路	水晶発信回路使用 ディジタル式信号合成回路
電 源	AC - 100 V

表 2.6 デジタル集録装置の主要特性

デ ィ ジ タ ル 集 録 装 置	
型 式	SAMTAC - 85 E - 16
記 録 チ ャ ン ネ ル	16 CH (サンプリング周波数 100 Hz)
A D 変 換 装 置	12 bit バイナリー
エリアジングフィルター	30 Hz - 1 db 以内 (- 12 db / Oct)
入 力 電 圧	± 5 V (AGC が ON 時 ± 10 V)
入力インピーダンス	100 K Ω
サンプリング周波数	10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 Hz
遅 延 装 置	32 K バイトメモリー サンプリング 100 Hz 16 CH の場合 - 10 秒 サンプリング 200 Hz 8 CH の場合 - 5 秒
水 晶 時 計	NHK ラジオの時報により 0.01 秒の精度で自動修正
ス タ ー タ ー 回 路	レベル判定 - 2 CH の "OR" 又は "AND" レベル設定 - フルスケールの 0.05 ~ 20 %
磁 気 テ ー プ 装 置	カートリッジ式 8トラック 7700 BPI 450 フィート
記 録 時 間	16 CH サンプリング 100 Hz 時 約 150 分
モニター用 DA 変換装置	8 CH 同時アナログモニター
電 源	AC - 100 V ± 10 %
消 費 電 力	約 160 VA

表 2.7 無停電電源装置の主要特性

無 停 電 電 源 装 置	
型 式	WNB - 400 - 30
入力交流電圧	AC - 100 V (単相)
電圧変動範囲	± 10 %
定格周波数	50 Hz
出力電圧	AC - 100 V (50 Hz ± 0.1 %)
最大出力容量	400 VA
停電保償時間	30 分
使用蓄電池	無注水型鉛蓄電池
周囲温度	0 ~ 45 °C

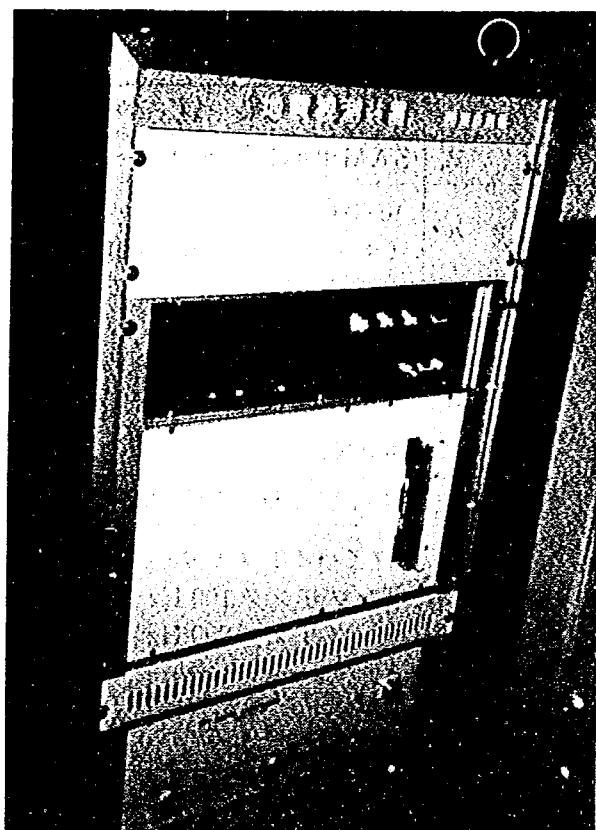


写真 2.2 集録装置部

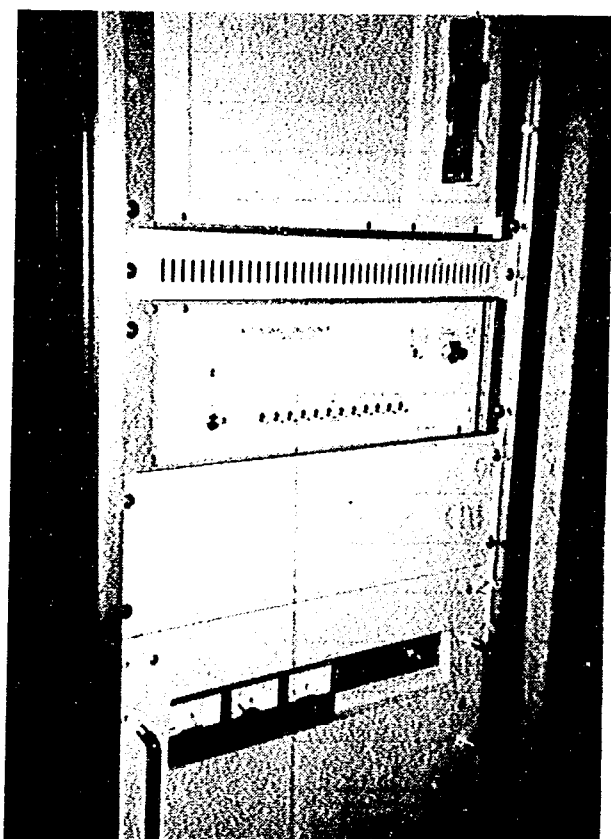


写真 2.3 シグナルコンディショナー部



写真 2.4 無停電電源装置部

表 2.8 加速度増幅器 校正信号レベル

ダイヤル値 (%)	基準値 (V^{rms})	測定値 (V^{rms})
90	3.181	3.184
80	2.828	2.828
70	2.475	2.475
60	2.121	2.118
50	1.768	1.766
40	1.414	1.411
30	1.061	1.056
20	0.707	0.701
10	0.354	0.347
5	0.177	0.173
0	0	0

表 2.9 加速度増幅器の特性

	倍 率	校正電圧	ノ イ ズ
基 準 値	$3.333 \pm 3\%$	$3.535 V^{rms} \pm 3\%$	

チャンネル	倍 率 (倍)	校正電圧 V^{rms}	ノ イ ズ mV^{p-p}
1	3.316	3.488	3
2	3.322	3.503	3
3	3.320	3.502	3
4	3.316	3.488	3
5	3.319	3.500	3
6	3.325	3.506	3
7	3.319	3.494	3
8	3.325	3.512	3
9	3.312	3.496	3
10	3.318	3.509	3
11	3.319	3.509	3
12	3.319	3.515	3

注) 1) 倍 率 (DC-1Vを入力し倍率測定)

2) 校正電圧 (供試センサーを接続し校正信号を入力した時の増幅器の出力電圧)

3) ノ イ ズ (入力オープン時増幅器の出力電圧)

表 2.10 加速度増幅器周波数特性

	10 Hz	18 Hz	24 Hz	30 Hz
基準値	100 %	97% ± 3 %	94% ± 3 %	90% ± 3 %

チャンネル	周 波 数 特 性			
	10 Hz	18 Hz	24 Hz	30 Hz
1	100	97.06	94.03	90.50
2	100	96.87	93.64	89.90
3	100	96.95	93.80	90.16
4	100	96.86	93.63	89.92
5	100	96.81	93.52	89.76
6	100	96.88	93.68	89.99
7	100	96.90	93.70	90.02
8	100	97.02	93.95	90.40
9	100	96.84	93.58	89.84
10	100	97.00	93.87	90.28
11	100	97.08	94.05	90.54
12	100	96.76	93.44	89.62

注) 10 Hz の値を約 $1 V^{rms}$ にし、これを 100% とする。

表 2.11 デジタル集録装置 AD 変換特性

(SAMPLING = 100 Hz 時)

CH	入 力 電 圧 (V)				
	-4.000 (V)	-2.000 (V)	0 (mV)	+2.000 (V)	+4.000 (V)
1	-3.998	-1.999	-0.13	1.998	3.997
2	-3.998	-1.999	-0.24	1.998	3.997
3	-3.997	-1.998	0.22	1.999	3.998
4	-3.997	-1.998	0.31	2.001	3.998
5	-3.997	-1.999	0.26	1.999	3.997
6	-3.998	-1.999	-0.05	1.998	3.997
7	-3.998	-1.999	0.23	2.001	3.998
8	-3.998	-1.999	-0.09	1.999	3.998
9	-3.998	-1.999	-0.17	2.000	3.998
10	-3.998	-1.999	-0.24	1.999	3.997
11	-3.997	-1.998	0.28	2.001	3.999
12	-3.997	-1.999	0.31	2.001	4.000
13	-3.998	-2.000	0.37	1.999	3.998
14	-3.998	-1.999	0.10	1.998	3.997
15	-3.998	-1.999	0.21	1.999	3.998
16	-3.998	-1.999	-0.16	2.001	4.000

表 2.12 デジタル集録装置エリアジंकフィルター周波数特性

(入力 = 1.00 一定)

Hz CH	10	15	20	25	30	50	70
1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	0.63	0.39
2	1.00	1.00	0.98	0.96	0.91	0.63	0.39
3	1.00	1.00	0.98	0.96	0.92	0.65	0.41
4	1.00	0.99	0.98	0.95	0.90	0.62	0.39
5	1.00	1.00	0.99	0.96	0.92	0.64	0.39
6	1.00	0.99	0.98	0.95	0.91	0.64	0.40
7	1.00	0.99	0.98	0.95	0.91	0.62	0.39
8	1.00	1.00	0.99	0.97	0.93	0.66	0.42
9	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	0.64	0.40
10	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	0.64	0.41
11	1.00	0.99	0.97	0.94	0.90	0.63	0.40
12	1.00	0.99	0.97	0.94	0.89	0.61	0.39
13	1.00	1.00	0.99	0.97	0.93	0.66	0.41
14	1.00	0.99	0.98	0.95	0.91	0.64	0.41
15	1.00	1.00	0.99	0.96	0.92	0.63	0.39
16	1.00	1.00	0.99	0.96	0.92	0.65	0.40

表 2.13 無停電電源装置定格表

型 式		WNB-400-30
イン バ ー タ 部	入 力 電 圧	DC 24 V
	出 力 電 圧	1 ϕ 100 V $\pm$ 5 % (抵抗負荷時)
	容 量	1 ϕ 400 VA (連 続)
	周 波 数	50 Hz 又は 60 Hz $\pm$ 0.1 %
電 源 部	交 流 入 力	1 ϕ 100 V $\pm$ 10 % 50 / 60 Hz
	直 流 出 力	DC 24 V $\cdot$ 26 A
充 電 部	浮動・定電圧	DC 27.5 V
	定 電 流	DC 1.5 A
そ の 他	組 込 電 池	鉛シール電池 12 V - 24 AH $\times$ 2
	停電切替時間	無瞬断
	停電動作時間	30 % (20 $^{\circ}$ C)
	過放電保護	電池電圧約 21 V にてインバータ停止
	直 送 容 量	100 V 400 VA
	冷 却 方 式	自 然
	同 囲 条 件	気温 0 $^{\circ}$ C $\sim$ 40 $^{\circ}$ C, 湿度 30 $\sim$ 90 %

3. 強震計の設置

3.1 加速度換振器

橋上の加速度換振器は、図 3.1 に示すように取付治具に固定し、これを直接、塔及び桁内の鋼材に接着した。加速度計の方向は、橋軸方向については、茨城県側を X (+)，千葉県側を

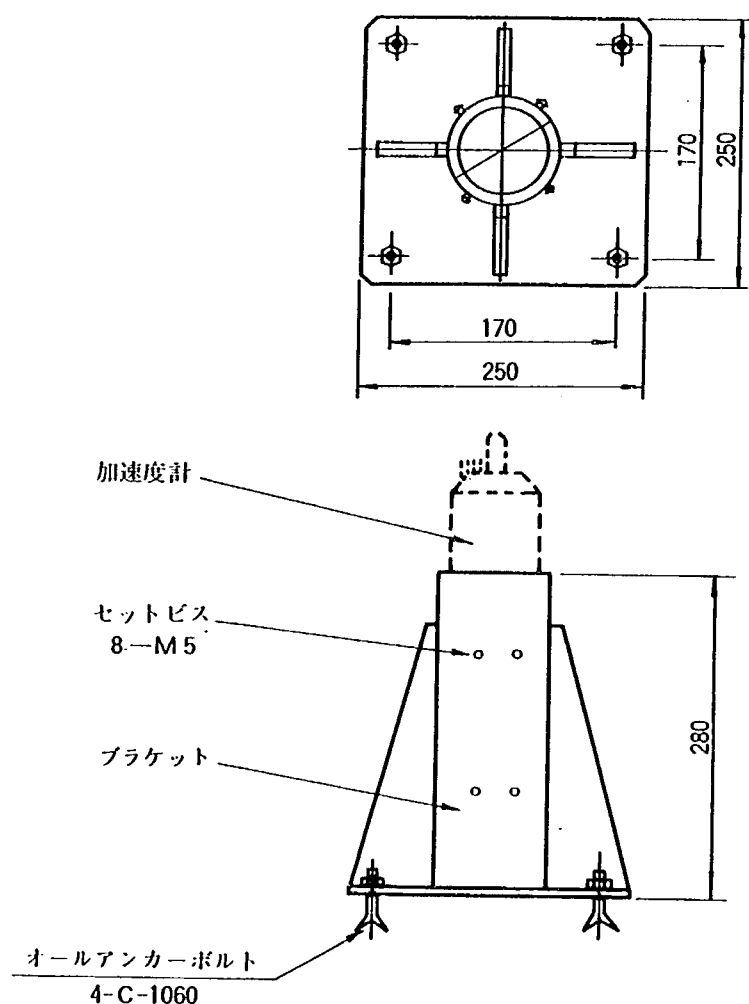


図 3.1 地上用加速度換振器取付治具

X (-)とし、橋軸直角方向については、川の下流側を Y (+)，上流側を Y (-)とした。加速度計の設置状況を写真 3.1 に示す。ケーブルは、塔及び桁自体のシール効果を考え、写真 3.2 及び写真 3.3 に示すように各加速度計からのケーブルを束ねて敷設した。桁出口から観測室までは写真 3.4 及び写真 3.5 に示すように橋桁底板を通し、電線管で配線した。

埋設加速度計は、図 3.2 に示すように地表面下 2 m の地点に埋設し、図 3.3 に示すように千葉県側取付高架橋 P-1 基礎までは、塩ビ管に通したケーブルを 60 cm の深さに配線した。埋設状況を写真 3.6 に示す。地中加速度計の方位は、写真 3.7 に示すように橋軸方向及び橋軸直角方向に合わせた。また、ケーブルの配線は、写真 3.8 及び写真 3.9 に示すように橋脚表面を通



写真 3.1 加速度計設置状況

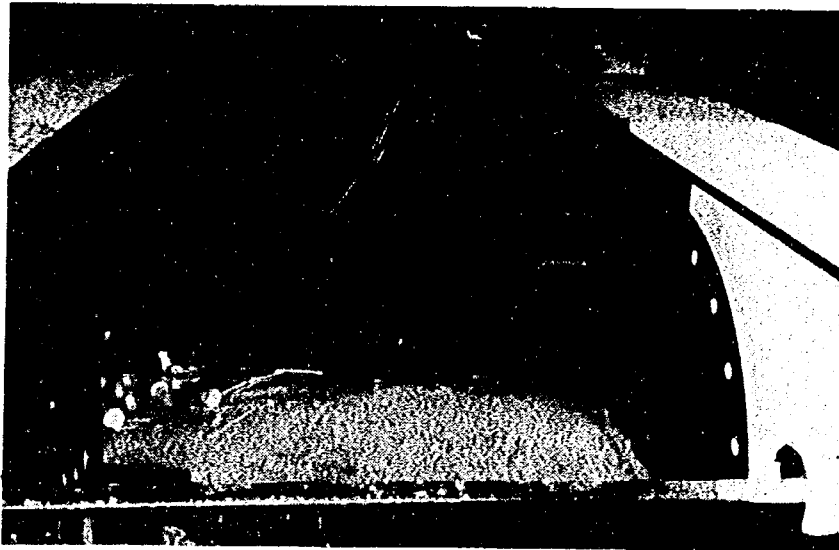


写真 3.2 桁内のケーブルの配線

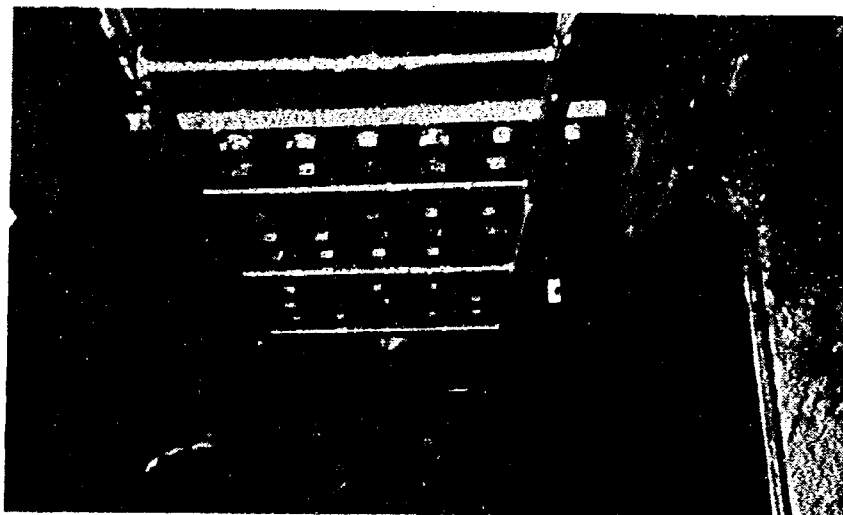


写真 3.3 塔内のケーブルの配線

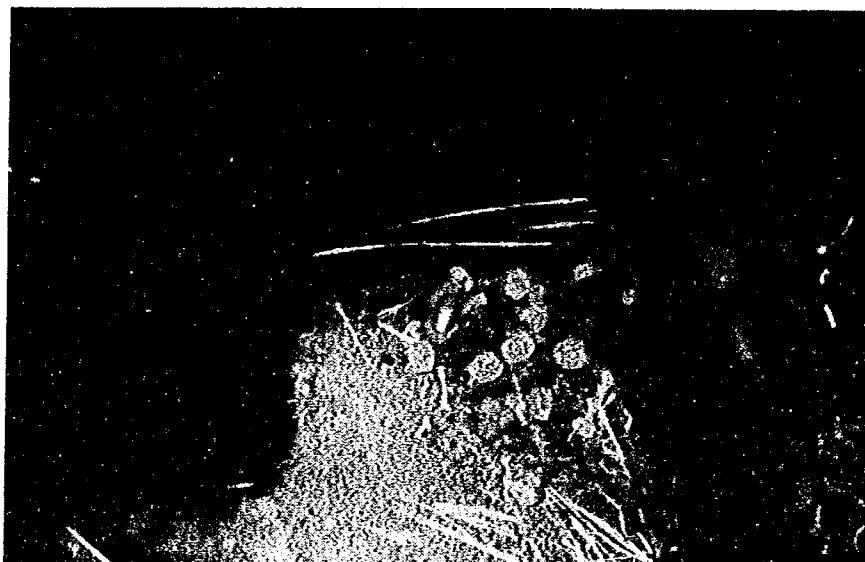


写真 3.4 桁からのケーブルの引き出し

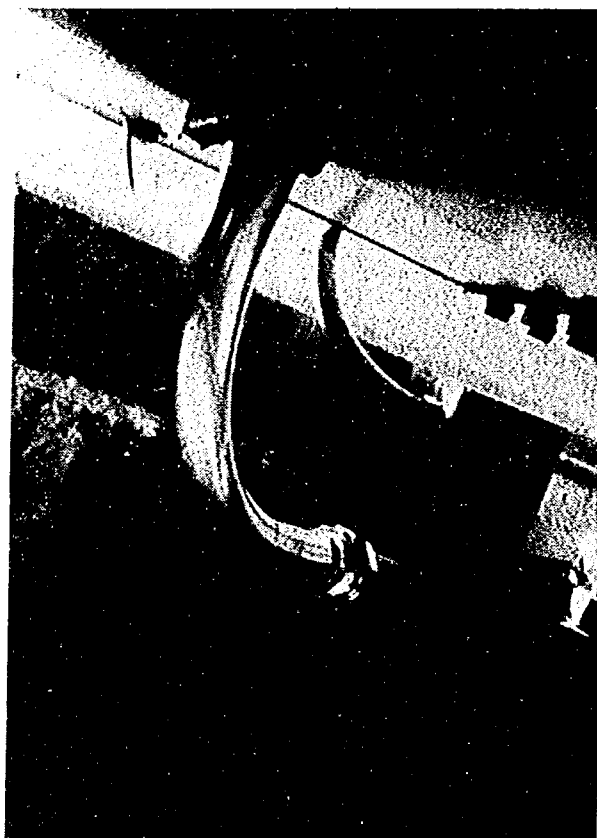


写真 3.5 電線管による配線

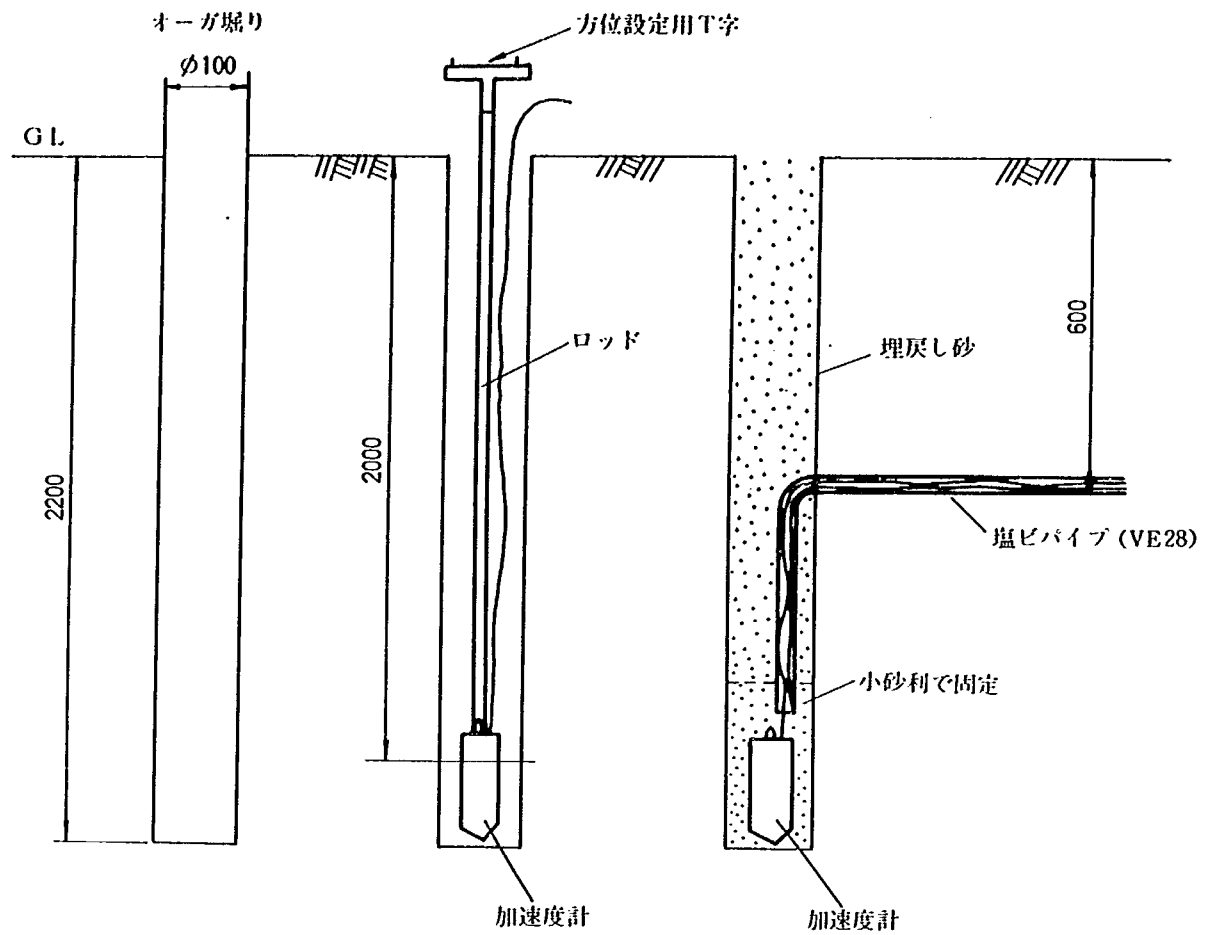


図 3.2 地中加速度計設置図

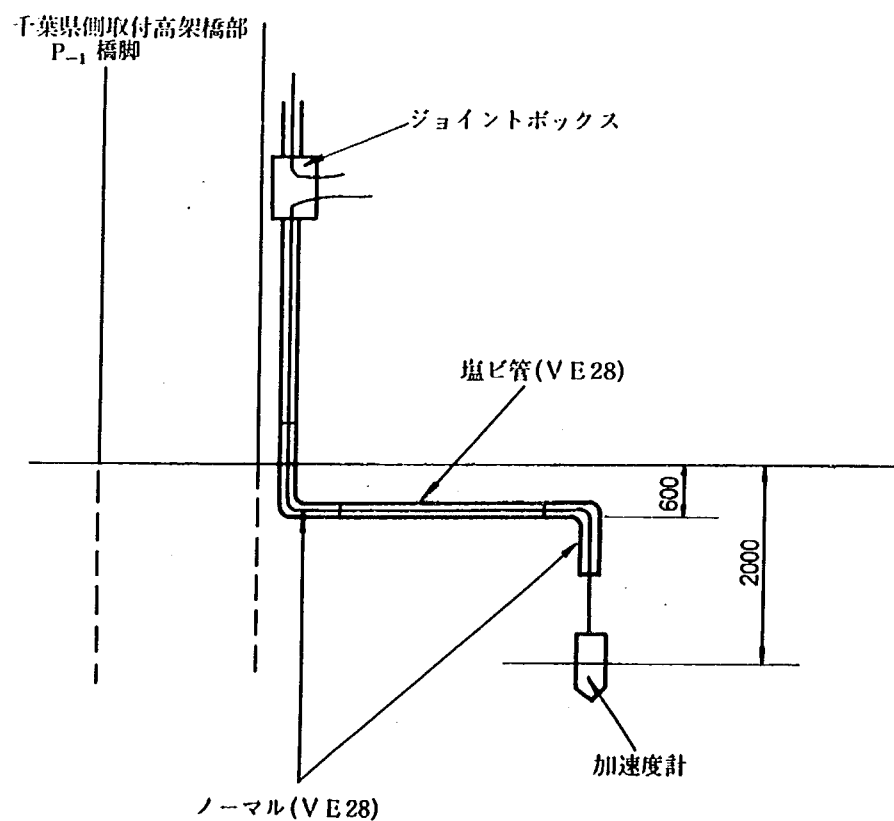


図 3.3 地中加速度計の配線



写真 3. 6 地中加速度計の埋設



写真 3. 7 地中加速度計の方位決定

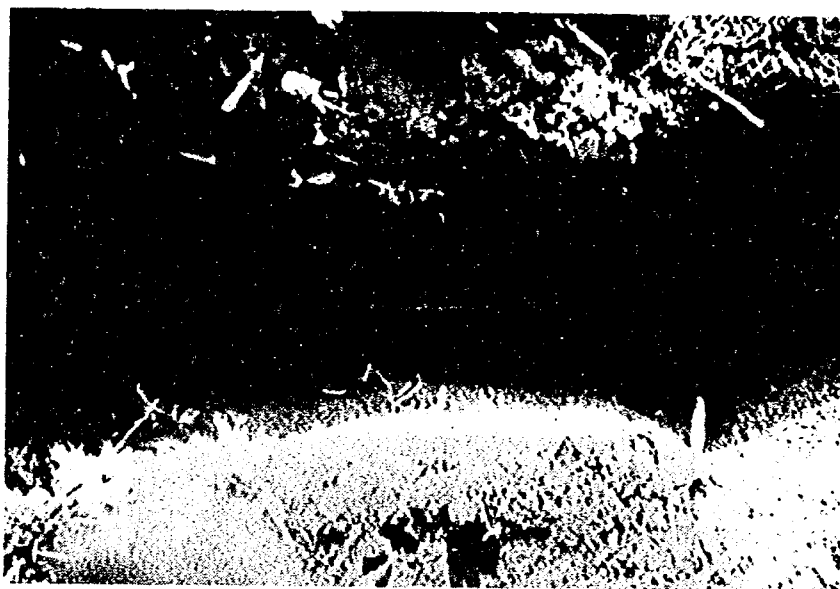


写真 3.8 地中加速度計からのケーブルの配線



写真 3.9 地中加速度計からのケーブルの配線

し、主桁下フランジに鋼管を固定して観測小屋まで配線した。

3.2 デジタル集録装置

集録装置本体は、土木研究所構造研究室で自然風観測装置を設置している水郷大橋千葉県側端部の P₁ 橋脚上のコンクリートブロック製の観測小屋内に設置した。

橋上及び埋設加速度計からのケーブルは、写真 3.10 に示すように一括して観測小屋内に配線した。加速度換振器、デジタル集録装置、及び無停電電源装置等は、図 3.4 に示すようにラックに収納した。

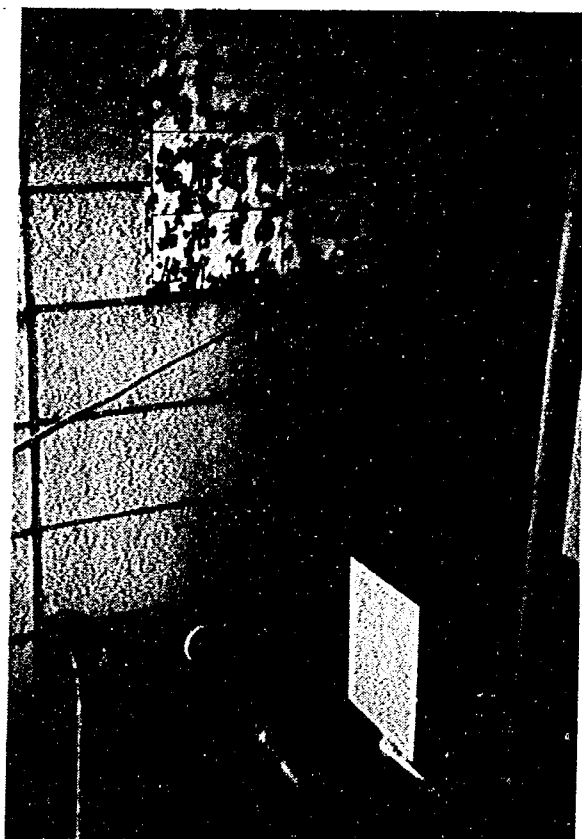


写真 3.10 観測小屋へのケーブルの引き込み

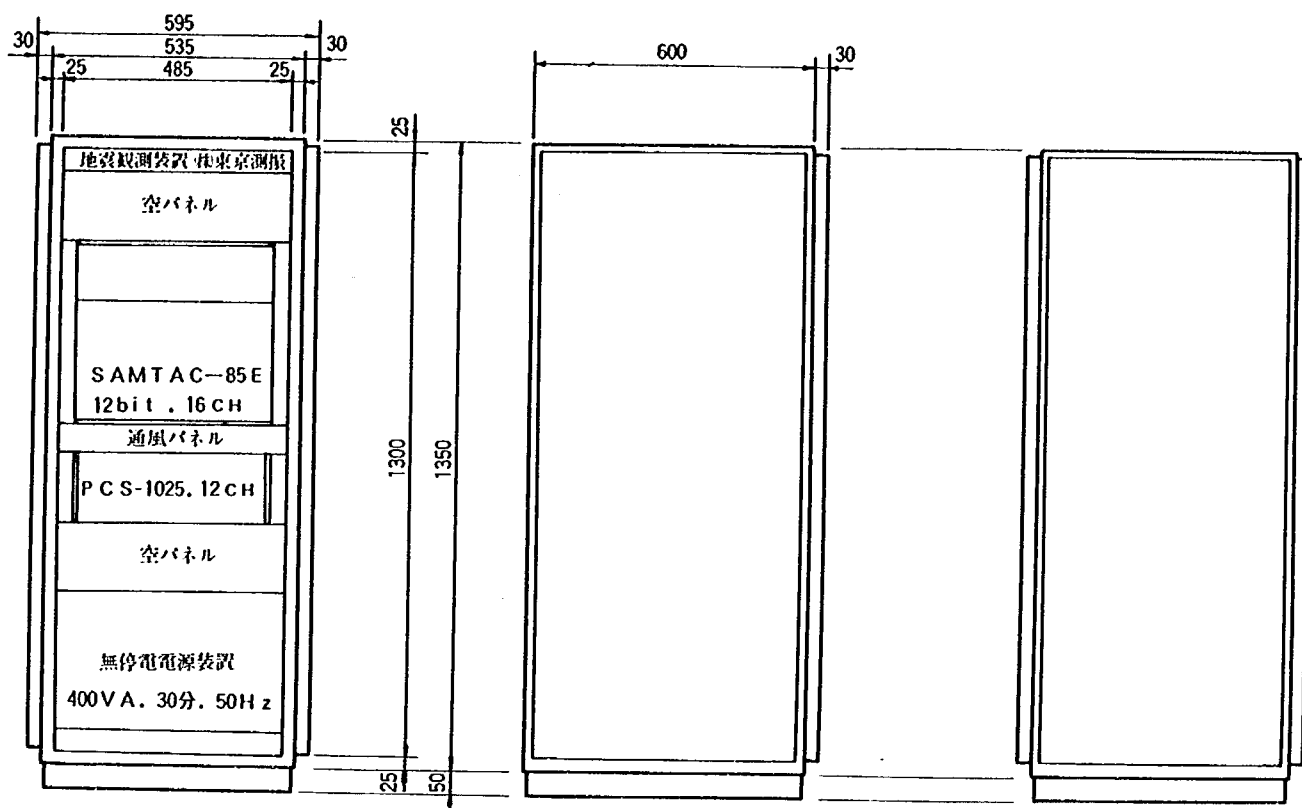


図 3.4 デジタル集録装置収納ラック

4. 振動実験及び予備解析

土木研究所構造研究室では、関東地方建設局千葉国道工事事務所からの依頼により、水郷大橋の耐風安定性を風洞模型実験や現地風観測による検討を行っている。^{1), 2), 3)} また、これに関して、水郷大橋の耐風設計の妥当性の検証を主目的とする振動実験を供用開始前に実施している。

振動実験では、共振試験、モード試験、減衰試験、風による橋の応答測定等を実施している。表 4.1 に共振振動数を、表 4.2 に対数減衰率を、図 4.1 及び図 4.2 にモード形を示す。同研究室では、振動実験とともに固有値解析を実施しており、この結果も同表、同図に示している。⁴⁾ この時の計算モデル及び計算条件をそれぞれ図 4.3 及び表 4.3、表 4.4 に示す。

表 4.1 共振振動数一覧表

振動モード	次数	共振曲線 (A)	パワースペクトル (B)	計算値 (C)	$\frac{(B)}{(A)}$	$\frac{(C)}{(A)}$
たわみ	1	0.454	0.463	0.424	1.020	0.934
	2	0.852	0.745	0.805	0.874	0.945
	3	1.256	1.366	1.267	1.088	1.009
	4	2.026	1.999	2.054	0.987	1.014
	5	2.558	2.523	2.645	0.986	1.034
	6	3.382	3.391	3.589	1.003	1.061
	7	4.589	4.089	4.172	0.891	0.909
ねじれ	1	1.635	1.643	1.622	1.005	0.992
	2	2.978	2.981	3.164	1.001	1.062
	3	4.453	4.501	4.668	1.011	1.048
	4	5.630	5.006	6.073	0.889	1.079
	5	6.750	6.394	7.233	0.947	1.072

表 4.2 対数減衰率一覧表

		減衰試験結果			D	E
		A	B	C		
橋み振動	1	0.0650	0.0768	0.0685	—	0.0760
	2	0.0390	0.0342	0.0371	0.0694	0.0656
	3	0.0422	0.0359	0.0402	0.0546	0.0750
	4	0.0641	0.0631	0.0639	0.0419	0.0746
	5	0.0800	0.0721	0.0775	0.0718	0.1003
	6	0.0634	0.0620	0.0629	0.0567	0.0920
	7	0.0759	0.0924	0.0826	0.0775	0.0590
ねじれ振動	1	0.0570	0.0591	0.0575	0.0615	0.0684
	2	0.0548	0.0630	0.0571	0.0656	0.0658
	3	0.1127	0.0952	0.1061	0.0870	0.0730
	4	0.0652	0.0550	0.0601	0.0714	0.0597
	5	0.0901	—	0.0901	0.0893	0.0290

注

A …… 主径間実測値

B …… 側径間

C …… A, B の平均

D …… 共振曲線

E …… パワースペクトル

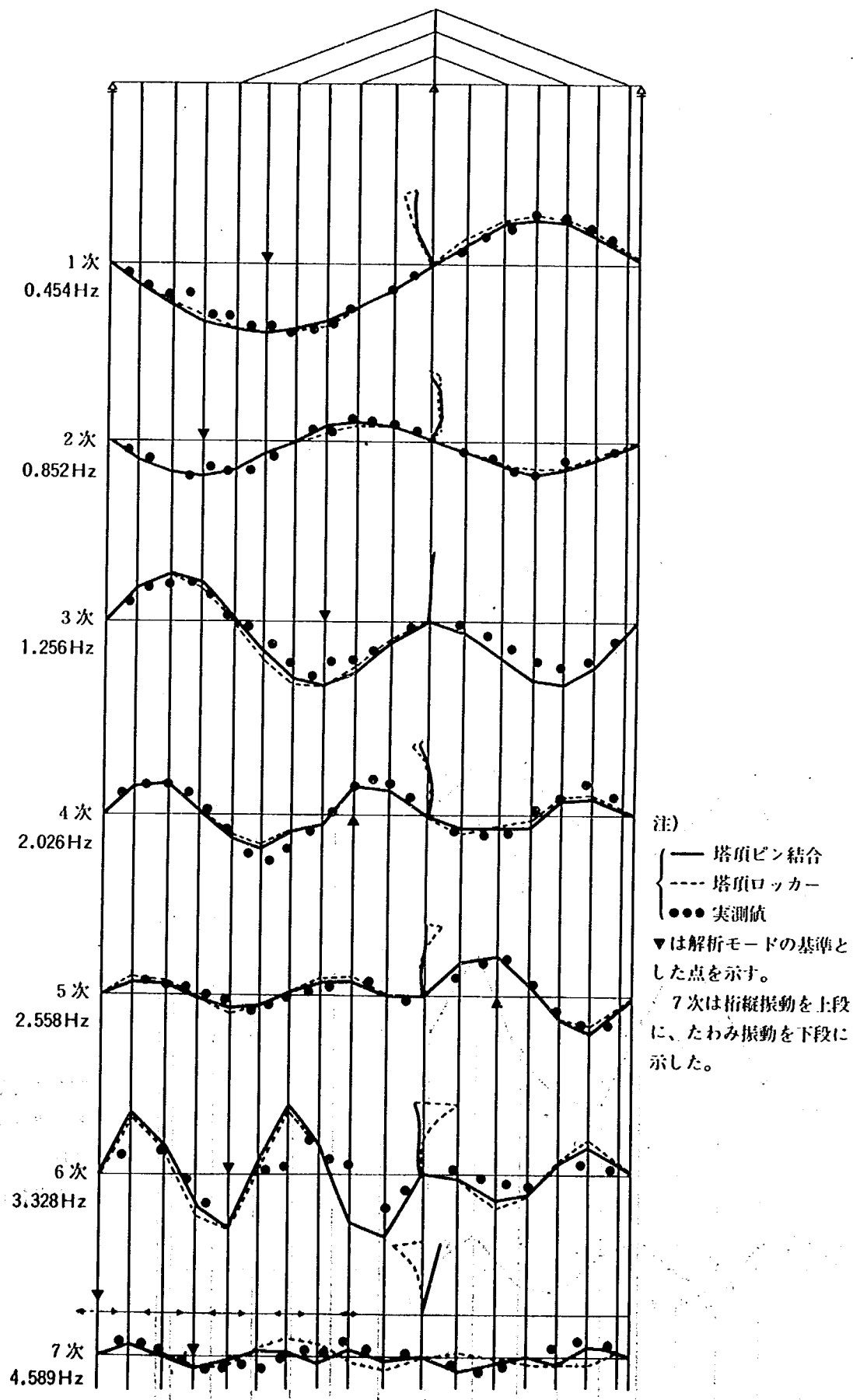


図 4.1 たわみ振動モード

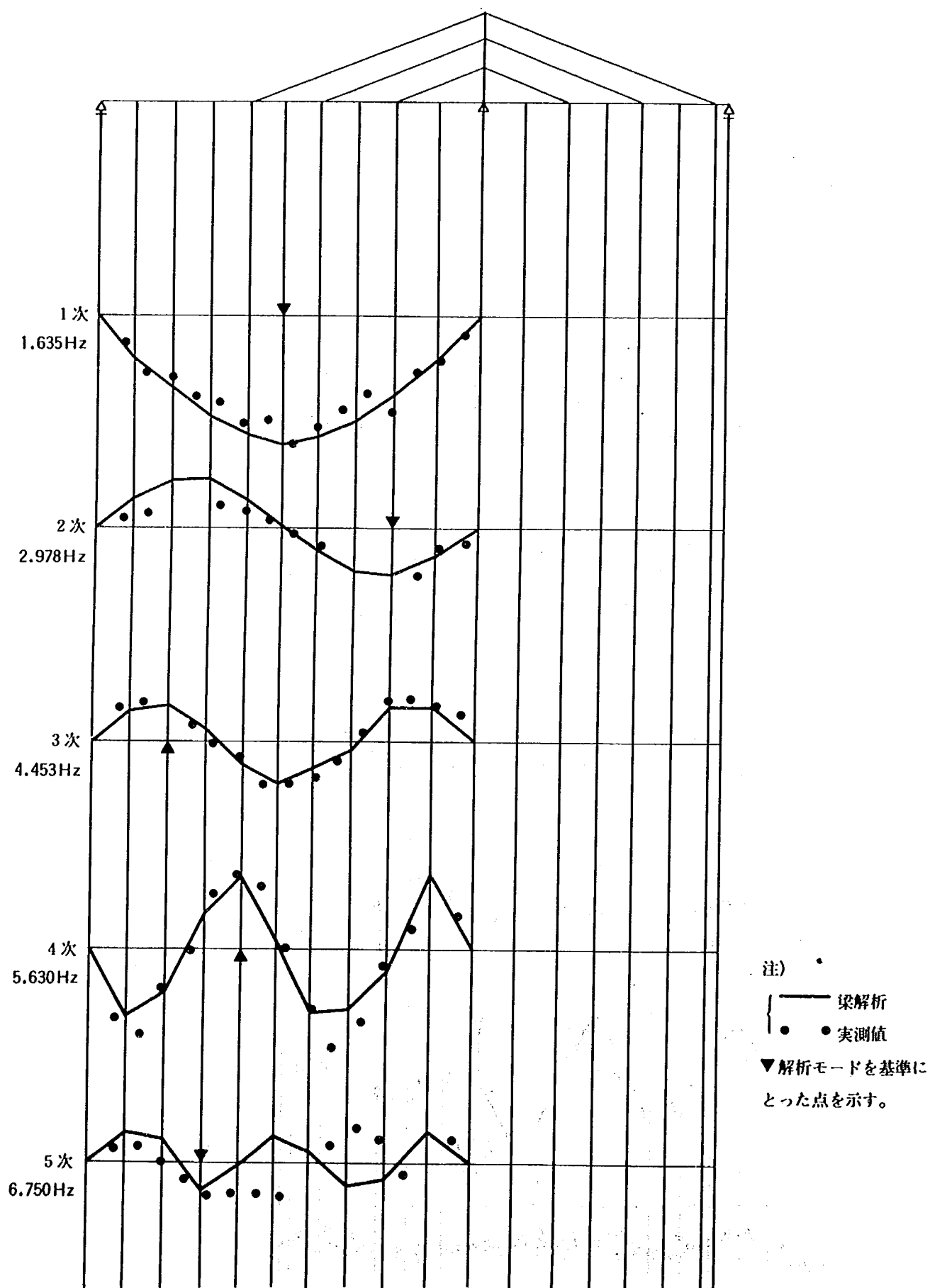


図 4.2 ねじれ振動モード

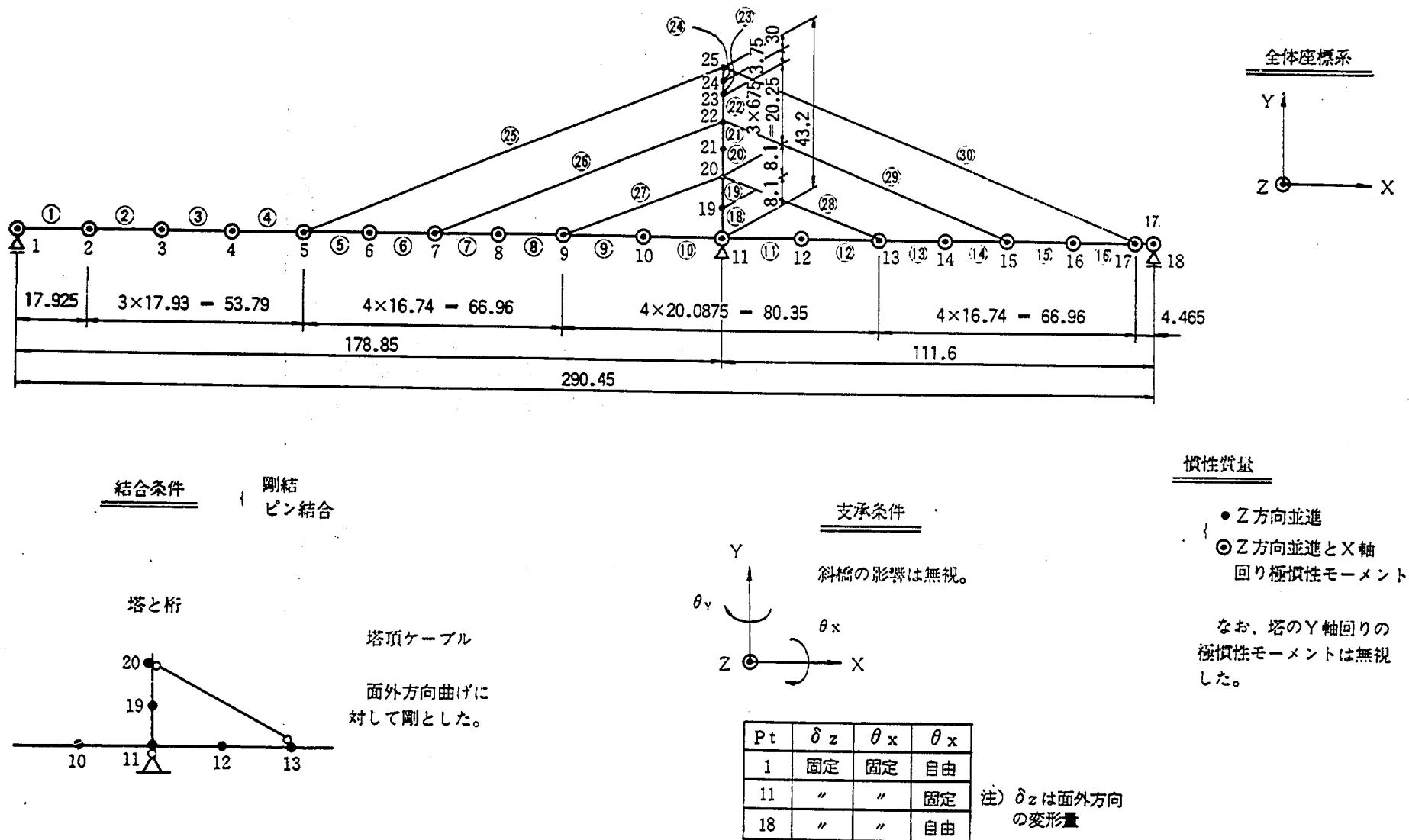


図 4.3 計 算 モ デ ル (橋軸直角方向)

表 4.3 基本慣性質量

部材	Pt.	Y 方向 並進質量 (t)	X 方向 並進質量 (t)	Z 方向 並進質量 (t)	X 軸回り 回転質量 (t・m ²)
桁	1	131.982	263.982	Y 方向 と同じ	4,801.238
	2	264.000			9,651.793
	3	264.037	528.056		9,730.378
	4	264.037			9,672.617
	5	311.135	566.410		9,307.403
	6	246.513			8,995.591
	7	280.138	526.651		"
	8	246.513			"
	9	295.225	566.386		9,895.015
	10	295.809			10,801.117
	11	321.515	617.324		10,930.113
	12	295.809			10,801.117
	13	251.047	522.208		8,995.591
	14	246.513			"
	15	280.138	526.651		9,018.775
	16	246.513			8,995.591
	17	211.992	368.125		5,697.476
	18	32.876			1,199.681
	Σ	4,485.792	4,485.793	4,485.792	155,480.269
塔	19		47.604	X 方向 と同じ	無 視
	20	128.249	64.310		
	21		32.670		
	22	110.734	68.763		
	23		25.636		
	24		32.805		
	25	108.318	75.513		
	Σ	347.301	347.301	347.301	

表 4.4 基本断面性能

部材	格 点	断 面 積 A (m ²)	面内断面二次 モーメント I _z (m ⁴)	面外断面二次 モーメント I _y (m ⁴)	純ネジリ定数 J (m ⁴)
桁	1 - 2	0.8455	1.197	36.4956	2.2039
	2 - 3	0.9053	1.444	36.8668	2.4853
	3 - 4	0.9103	1.463	36.9097	2.5041
	4 - 5	0.8598	1.255	36.5379	2.2381
	5 - 6	0.8743	1.306	36.5217	2.1833
	6 - 7	↓	↓	↓	↓
	7 - 8	↓	↓	↓	↓
	8 - 9	↓	↓	↓	↓
	9 - 10	↓	↓	↓	↓
	10 - 11	0.9178	1.470	36.7635	2.3785
	11 - 12	"	"	"	"
	12 - 13	0.8743	1.306	36.5217	2.1833
	13 - 14	"	"	"	"
	14 - 15	0.8857	1.351	36.5477	2.2451
	15 - 16	"	"	"	"
	16 - 17	0.8743	1.306	36.5217	2.1833
	17 - 18	"	"	"	"
塔	11 - 19	0.4717	0.5593	0.4661	0.6727
	19 - 20	"	"	"	"
	20 - 21	0.3884	0.4544	0.3815	0.5315
	21 - 22	"	"	"	"
	22 - 23	0.3049	0.3504	0.2961	0.3900
	23 - 24	"	"	"	"
	24 - 25	10.(仮想)	10.(仮想)	10.(仮想)	10.(仮想)
ケーブル	5 - 25	0.06304	0.	0.	0.
	17 - 25	"	↓	↓	↓
	7 - 22	0.04313	↓	↓	↓
	15 - 22	"	↓	↓	↓
	9 - 20	0.03819	↓	↓	↓
	13 - 20	"	↓	↓	↓

注) 塔及び桁 : $E_s = 2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$ $G_s = 8.1 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ ケーブル : $E_c = 2.0 \times 10^7 \text{ t/m}^2$

謝 辞

水郷大橋の強震計の設置に際しては、建設省関東地方建設局千葉国道工事事務所の御関係の皆様
に大変お世話になりました。特に以下の方々には現地踏査を含め、大変お世話になりました。こ
こに示して厚くお礼申し上げます。（敬称略，肩書は設置当時）

建設省関東地方建設局千葉国道工事事務所

調 査 課 長	吉 野 尚 治
管理第二課長	渡 辺 楠 男
建 設 監 督 官	飯 田 永佐訓
維 持 係 長	横 内 治 久
計 画 係 長	清 水 喜代志
建 設 技 官	大 塩 俊 雄
建 設 技 官	窪 田 達 也

同工事事務所酒々井出張所
所 長 福 田 正 夫
管理係長 溝 井 康 友

また、本強震計のデジタル集録装置本体は、土木研究所構造研究室所有の水郷大橋風観測小屋
に設置させていただいた。機器の設置に際して、構造研究室の皆様には大変お世話になりました。こ
こに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所；新水郷大橋耐風調査報告書，土木研究所資料第 932 号，昭和49年 3 月
- 2) 建設省土木研究所；耐風調査報告書（Ⅲ），土木研究所資料第 1014 号，昭和50年 3 月
- 3) 建設省土木研究所；耐風調査報告書（Ⅳ），土木研究所資料第 1132 号，昭和51年 3 月
- 4) 建設省土木研究所；水郷大橋振動実験報告書，土木研究所資料第 1349 号，昭和53年 3 月
- 5) 建設省土木研究所；土木研究所における高密度強震観測システム，
——（1）相良地区の観測システム——，土木研究所資料第 1847 号，昭和57年 7 月

水郷大橋動的特性調査 —強震観測システム—

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2380号
昭和61年5月(1986年)
川島一彦, 運上茂樹
吾田洋一

要 旨

近年、大規模特殊事業関連の道路において長大スパンの斜張橋が採用される事例が急増している。これは、斜張橋が従来の吊橋と連続桁橋の中間の特性を有し、吊橋のように巨大なアンカー基礎を必要とせず、軟質な地盤上に建設される長大橋として構造的に適しているとともに橋梁技術の進歩に伴い、長大スパン化が可能となったためである。しかしながら、斜張橋に対しては、従来調査経験がなく、また、強震観測等による動的特性の把握も十分でないのが実情である。

本システムは、斜張橋の地震応答特性の調査及び斜張橋の動的特性を取り入れた耐震設計法の開発を目的として、一般国道51号が1級河川利根川を渡る千葉・茨城両県境に架設されている建設省関東地方建設局管内の水郷大橋に設置したものであり、本報告は、その概要をとりまとめたものである。

キーワード：斜張橋、水郷大橋、強震観測、耐震設計

郵便はがき

3 0 5 - □ □

40円切手
をはって
下さい

建設省土木研究所

耐震研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. 203

No. 203

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2380号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

