



Reference No. //

土木構造物の耐震に
関する研究資料 Ⅲ

Technical Memorandum of the Public Works Research Institute

土木研究所資料

№ 532

Review of Recent Studies on Earthquake Engineering at the Public Works Research Institute

土木研究所における最近10年間の耐震性に関する研究

(Draft)

July 1969

昭和44年7月

The Public Works Research Institute
Ministry of Construction

建設省土木研究所

土木研究所資料

第五三二号

昭和四十四年七月

建設省土木研究所

まえがき

最近の日本における経済活動の活発化にともない、大規模施設ことに大規模な公共施設の立案と実施が着々と進められている。

日本は環太平洋地震帯に属し、世界でも有数の地震国であり、構造物を設計し施工する場合、地震の影響は一つの大きな要素となる。従来の耐震設計法は震度法によつていたが、長大構造物の設計と施工にあたっては、新しい設計方法の確立が強く求められることになった。

土木研究所においても合理的な耐震設計法の確立を目ざして、数多くの研究がなされてきた。その目的を達成するためには、地震動の実測と評価、構造物の地震応答の観測と解析などの基礎的な調査研究を進めていくことが必要であつた。

本文では、土木研究所における最近10年間の研究を

- I 震害調査
- II 強震観測とその結果の利用
- III 模型実験
- IV 実橋振動実験
- V 構造物の耐震性と地震応答解析
- VI 耐震設計法

の6つに分類して、その概要を紹介する。

最近10年間の耐震研究の方向は、長大構造物、例えば、長大つり橋、沈埋トンネルなどの耐震設計法の確立という面と、一方においては環境の保全に関連する斜面や地盤の安定に関する面があげられる。

近年、地盤動の観測・解析に重点がおかれ、67箇所(1969年7月現在)に強震計が設置され、1966年より強震記録が刊行されている。また地中における地震動の観測も実施されている。

耐震設計における応用面では、地震の応答スペクトル曲線を提案すると共に、それを利用する動的応答を考慮した震度法(修正震度法と言われる)が提案され、長大つり橋の耐震設計に用いられている。また地震を考慮した構造解析の手法が、つり橋や沈埋トンネルの耐震設計の検証に用いられ、つり橋においては実験的に検証する手法も確立されてきた。

1969年7月28日

建設省土木研究所

振動研究室

目 次

まえがき

I 震 害 調 査	(3)
II 強震観測とその結果の利用	(6)
III 模 型 実 験	(8)
IV 実 橋 振 動 実 験	(10)
V 構造物の耐震性と地震応答解析	(12)
VI 耐 震 設 計 法	(15)

所 報 土木研究所報告

彙 報 土木研究所彙報

技 資 土木技術資料

研 資 土木研究所資料

英文所報 JOURNAL OF RESEARCH, PUBLIC WORKS RESEARCH INSTITUTE

I 震害調査

資料 No.	題 目	著 者	出 典	年 月
I - 1	橋梁の震害調査	高田 孝信 手塚 豊	技資 1-10	34.1
	天竜川に架設されている橋梁について、これまでの地震でうけた被害を調査している。			
I - 2	チリ地震津波による災害をみて	土木研究所	技資 2-6	35.6
	チリ地震津波調査報告	"	技資 2-12	35.12
	1960年5月23日、南米チリ沖地震によつて発生した津波によつて、太平洋岸の各地におよぼした被害を調査したものである。 構造物の被害としては、堤防、護岸の被害があげられるが、この地方は過去にも津波による被害の経験があり、これらの貴重な経験が生かされている。 報告書は、これら被害調査の他、津波の変形、津波対策について述べている。			
I - 3	日向灘地震災害の調査報告	土木研究所	報.第113号	37.12
	1961年2月27日に発生した日向灘地震による被害を調査したものである。 日向灘地震は、震度の激しさにもかかわらず、被害は意外に軽微であつた。これは耐震設計法の進歩による成果を物語っているが、路盤、盛土等、耐震的な考慮の確立が今後の問題として残されている部分については、若干の被害を生じている。			
I - 4	北美濃地震による山地崩壊について	渡宮 正 島 亮 泉 男	技資 3-11	36.11
	1961年8月19日に発生した北美濃地震による山地の崩壊について調査したものである。 踏査区域は、九頭竜川水系打波川筋、手取川水系牛首川筋、庄川水系大白川筋である。 踏査結果によると、新規崩壊は急傾斜地に発生している。又、大規模の崩壊は旧崩壊地の中の不安定な滞積土砂に起こつている。などのことが述べられている。			
I - 5	東北地震震害調査 (I)	多田 安夫 松野 三朗	技資 4-10	37.10
	東北地震震害調査報告 (II)	山村 和也 栗林 栄一	技資 4-11	37.11
	1962年4月30日に発生した東北地震による被害について調査したものである。 土木構造物の被害を橋梁、道路および舗装、堤防および河川構造物についてみると、橋梁では江合橋が支承部のアンカーボルトの切断、クツの移動などの被害を受けたほか、錦江橋に一部被害があつたが、その他は比較的影響がなかつた。道路としては、震源地付近の一部の県道をのぞいては、交通止めをしなけりばならないほどの致命的被害をうけなかつた。			

	河川構造物では、堤体のキレツ、それに伴う斜面滑り、堤体盛土の沈下、堤体の震動、変形による護岸、擁壁、樋管などの構造的被害である。 その他の山地崩壊、地すべりなどの被害はあまりなかった。			
I - 6	新潟地震調査速報	土木研究所	技資 6-7	39.7
	新潟地震調査報告	土木研究所	所報 第125号	40.6
	1964年6月16日に発生した新潟地震による被害を調査したものである。 調査速報は、一週間にわたる現地調査の結果をとりまとめたものである。 調査報告は、第1編総論、第2編新潟地震と地盤の特性、第3編河川関係の被害、第4編道路およびトンネルの被害、第5編橋梁関係の被害、第6編下水道関係の被害よりなる。 震害範囲は秋田県、山形県、新潟県で、沿岸地方では、津波により大きな被害を出している。 国道、鉄道関係は沿岸を走るものに被害が多く、堤防もいたるところで沈下や破砕が発生し、橋梁は新潟市以外ではあまりない。 新潟地震の特徴は砂の流動化現象で、根入れの浅い鉄筋コンクリートビルは傾斜し、基礎地盤は変動し、橋台、橋脚の基礎杭に被害があつた。 地盤加速度は160 gal程度のものであつたので、十分な根入れのある構造物、よく設計された基礎、よい地盤上の構造物はわずかの震害しか受けなかつた。			
I - 7	新潟地震調査資料			
	No 1 昭和大橋の実測による振動特性調査	高田 孝信		39.10
	No 2 " 耐震規定による検討	大久保忠良		40.2
	No 3 " 地震応答調査	栗林 栄一		40.2
	No 4 八千代橋の地震応答調査	岩崎 敏男		40.2
I - 8	Base Ground Disasters due to Earthquake	福岡 正巳	英文所報	vol.11 41.8
	構造物の被害は、時の地盤の弱体化と移動によつて生ずる。 緩い飽和した砂は、液化現象によつて弱なり、地盤の耐荷力は次第に減少する。液化化した砂からなる砂層は地表面下約7~10mの深さにあり、液化化した砂層の上の地表面は水平に動く。 この報告書は地震時の地盤災害によつて生じた被害例について述べている。			
I - 9	新潟地震(昭和39年6月16日)について (主として橋梁の震害について)	栗林 栄一	道路 41年3月号	41.3
I - 10	昭和大橋の震害と動的解析の結果について	大久保忠良 栗林 栄一 岩崎 敏男	第8回 日本道路会議	41.10
	昭和大橋の震害と動的解析	"	科技厅 防災センター報告	41.3
	新潟地震によつて昭和大橋が落橋した原因を現地試験および解析結果より推察し、地震時に地盤災害をもたらす可能性のある所では設計指針として変位を規制し、橋梁各部の連絡を充分にし、杭式橋脚では並列杭形式の使用をすすめ、そうして上下部構造で一貫した耐震設計を行うべく改善していく必要があるとしている。			

Ⅱ 強震観測とその結果の利用

資料 No.	題 目	著 者	出 典	年 月
Ⅱ - 1	松代地震強震記録 第一報	栗林 栄一 岩崎 敏男	研資 163	41.4
	" 第二報	"	" 194	41.7
	" 第三報	"	" 254	42.3
	土木研究所と関東地建では、昭和40年12月以来長野県上高井郡若穂町の落合橋および長野市内に3台の強震計を設置し、松代群発地震の強震観測を実施している。 これらの資料は昭和40年12月～41年12月までの間に観測された記録のうち、主な強震記録を示したものである。 第一報 昭和40年12月8日～昭和41年2月28日 第二報 昭和41年3月1日～昭和41年6月22日 第三報 昭和41年6月25日～昭和41年12月5日 観測期間中に強震計によつてとらえた地震の総回数は409回であり、(A)落合橋橋脚上で327データ、(B)若穂町(落合橋近傍河床)地盤で203データ、(C)長野市地盤で97データ、合計627データの記録が得られた。 これらの記録には、その最大加速度が100gal以上のものが27データ、200gal以上のものが6データ含まれている。 これらの記録の中から、比較的加速度の大きい地震について、各成分方向の最大加速度と周期の関係、および周期-頻度曲線求めた。 又地震応答の詳細な解析を行うために、主要な松代地震96成分がデジタル化され、このデジタル量を入力として、線型系の応答スペクトル解析、非線型系の応答スペクトル解析を行った。これらの解析より落合橋の地震応答には非線型性がかなりはつきり現われているという点が明らかになった。 応答解析に非線型性を考慮すると応答加速度および復元力はかなり低下し、減衰の効果が小さくなるが、応答変位はやや大きくなるというような事が言える。			
Ⅱ - 2	道路橋における松代群発地震の強震観測結果	栗林 栄一 岩崎 敏男	技資 8-10	41.10
	松代群発地震の概要および強震観測を開始した昭和40年12月8日から昭和41年6月24日までで記録された強震記録の二、三の特性が報告されている。			
Ⅱ - 3	落合橋における松代地震の強震観測結果	栗林 栄一 岩崎 敏男	土木学会第9回 地震工学研究 発表会	42.10
Ⅱ - 4	松代群発地震における堤防の地震観測調査	竹下 周成 佐々木 康	技資 9-5	42.5
	堤防の地震時における挙動を調査するために千曲川堤防に地震計(カールソン型式の加速度計)を設置して観測した結果が報告されている。			

II - 5	地盤振動の全国調査第一次報告 (裾花ダムにおける松代地震記録)	構造研究室	研資 263	42.3
	長野県営の多目的ダムである裾花ダムは、松代群発地震の激化に伴ない工事継続の可否が懸念され、昭和41年2月に建設者河川局開発課、長野県企業局、建設省土木研究所の3者協議の結果、群発地震の推移を見守りつつ工事を続行するとともに、ダム築造地点周辺の岩盤に強震計を設置してダム地点における地震動加速度の大きさを観測することになった。裾花ダム地点における観測開始以来、昭和41年5月27日から同年10月26日の間に大小合わせて47回分の記録を得た。			
II - 6	土木構造物における強震記録 1966	振動研究室	研資 217	41.12
	土木構造物およびその近傍地盤に設置された地震計によつて昭和37年から昭和41年12月までの間に観測された強震記録を収録したものである。 強震計の設置点は昭和41年10月現在で36地点である。又電磁式地震計は昭和41年10月現在で21地点である。 観測された地震記録の数は201データで、本資料にこのうち73データについて波形記録を掲載している。			
II - 7	土木構造物における強震記録 1967	振動研究室	研資 341	43.2
	土木構造物ならびに近傍地盤に設置された地震計によつて、昭和42年1月から同年12月までの間に観測された強震記録を収録したものである。 強震計の設置点は昭和43年2月現在で59地点で、電磁式地震計は22地点である。 本資料に掲載した地震記録数は、強震計によるもの88データ電磁式地震計によるもの5データである。			
II - 8	土木構造物における強震記録 1968	振動研究室	研資 430	44.5
II - 9	Observed Earthquake Responses of Bridges	栗林 栄一 岩崎 敏男	第4回世界 地震工学会議	44.1

Ⅲ 模 型 実 験

資 料 №	題 目	著 者	出 典	年 月
Ⅲ - 1	中央道高架橋の模型による振動実験報告書(第1報)	材料構造部 構造研究室	委託実験報告書 (建設省土木 研究所)	36.3
	同 (第2報)	"	"	37.3
	対象地点の地質概況調査結果、模型の相似、材料の試験、模型の試作、実験法等について述べている。剛性の大きい地盤上の高架橋ほど耐震上有利であることを示している。			
Ⅲ - 2	PCラーメン高架橋模型の耐震実験報告書	材料構造部 構造研究室	委託実験報告書 (建設省土木 研究所)	37.2
Ⅲ - 3	高架橋PCラーメン模型の振動破壊について	栗林 栄一	土木学会第17 回年次学術講演 会概要集	37.5
Ⅲ - 4	PCラーメン高架橋模型の一耐震実験(Ⅰ)	栗林 栄一 高田 恭一	技資 5-2	38.2
	同 (Ⅱ)	木村 和男	" 5-3	38.3
	首都高速道路公団が建設しているPCラーメン高架橋の模型による耐震実験結果についてその概要を報告している。 本実験は4径間連続PCゲタ橋(全長10.0m)の鉄支点となるPCおよびRC混合構造のラーメン橋台(設計震度0.3、ゲタ下純高約5m)の橋軸方向の振動特性と振動破壊の状況を調査するために行つたものである。 模型は二種からなり、一つは実橋とほとんど同質のPC、RCからなる1/3.75の模型(〔Ⅰ〕に結果報告)、いま一つは合成樹脂(リゴラック)からなる1/2.0の模型(〔Ⅱ〕に結果報告)からなつている。 前者では、主として振動破壊の進行状況とそれともなう動的特性の変化を調べた。後者では主として破損にいたらない初期の応力分布を調べた。			
Ⅲ - 5	吊橋上部構造全橋模型による振動実験	栗林 栄一 小山田欣裕 若林 進 高安 栄寿 永井 隆	研資 182 " 183 " 283 " 326	41.5 41.5 42.5 43.3
	本州四国連絡架橋、耐震調査の一環である三径間吊橋上部構造の全橋模型による検証実験に関する報告である。 研資 182号 : 模型設計についての報告 183号 : 静的載荷試験結果報告(補剛桁のたわみ) 283号 : 主塔の固有振動特性試験 326号 : 模型相似律の検討 主塔の地震応答 地震波 EI Centro N-S 釧路 N-S, E-W 新潟 N-S, E-W			

Ⅲ - 6	松代群発地震時の擁壁にかかる土圧・加速度	伊勢田哲也 山下 宏	技資 9-6	42.6
	土圧をうける土木構造物が地震に際していかなる動きをするかを実験的に調べたものである。 落合橋の付近に実験用の高さ1.5m、幅2mの3種類の擁壁を作り、これに加速度計、および土圧計を取りつけて、平時と地震時における観測を行つた。			
Ⅲ - 7	水中ケーソンの振動時における水圧増加に関する 室内実験調査	岩崎 敏男	研資 202	41.10
	水中にある柱状構造物の振動時仮想質量の実験	岩崎 敏男 三牧 翹	技資 10-2	43.2
	海峽連絡橋の水深の深い位置にある下部構造物では地震時に作用する荷重の一つとして、水圧変動による増加荷重（いわゆる動水圧）を考慮しなければならない。 一方、かかる構造物に関する地震応答などの動力学的解析に於ては、そのモデルに水の質量効果を考慮しなければならないとされている。 この実験では本州四国連絡橋の下部構造として予想される断面（主に矩形断面）をもつた柱状構造物の振動時における仮想質量を実験的に求めると共に動水圧を算定している。			

Ⅳ 実 橋 振 動 実 験

資 料 No	題 目	著 者	出 典	年 月
Ⅳ - 1	度会橋橋梁調査報告	材料構造部 構造研究室	委託試験報告書 (建設省土木 研究所)	34.3
	上部構造は荷重車により静的、動的の試験を行い、下部構造は起振機により振動現象を測定した。なお基礎地盤は標準買入試験を実施した。			
Ⅳ - 2	駿河大橋橋脚振動試験報告書	材料構造部 構造研究室	委託試験報告書 (建設省土木 研究所)	36.3
	長円型ニューマテックケーソン基礎の橋脚の動的性状や基礎地盤の挙動を測定した。			
Ⅳ - 3	倉敷川橋橋脚振動実験報告書	材料構造部 構造研究室	委託試験報告書 (建設省土木 研究所)	36.3
	水島地方(岡山県)のシルト質粘土地盤中のベント杭を基礎とする橋脚の振動特性を求め特に減衰性が大きいことを報告している。			
Ⅳ - 4	首都高速道路公団高架橋橋脚振動実験報告書	材料構造部 構造研究室	委託試験報告書 (建設省土木 研究所)	36.3
	高架橋の耐震設計では主として橋脚の橋軸方向の振動特性が重視されている。この振動特性のうち減衰に関する資料を得るためには橋脚に大きな振巾を与える必要がある、そのために特別大きな起振機を用いて振動実験を行った。			
Ⅳ - 5	安治川橋橋脚振動試験	材料構造部 構造研究室	委託試験報告書 (建設省土木 研究所)	37.3
	本橋は大阪の軟弱地盤地点にあり、設計に際しては地盤沈下に対する処置などに種々工夫が盛り込まれているが、耐震設計に関してはなお多くの問題点を含んでいると思われる。本実験では特に規模の大きな井筒基礎を有する橋梁の振動特性を測定した。			
Ⅳ - 6	庄内新川橋橋脚振動実験報告書	材料構造部 構造研究室	委託試験報告書 (建設省土木 研究所)	38.3
	同 資 料			38.2
	本橋は、基礎には鋼管杭を使用し、上部構造はゲルバー型式の鋼板桁橋である。実験は本橋の一橋脚の振動特性を求めるために行われた。			
Ⅳ - 7	篠川橋振動実験報告書	材料構造部 構造研究室	委託試験報告書 (建設省土木 研究所)	38.3
	同資料 (I)、(II)			38.2
	本実験は基礎としての斜杭の水平抵抗および中間橋脚の水平抵抗を求めるために行われたこの結果水平抵抗がきわめて小さいことを報告している。			
Ⅳ - 8	若戸橋応力試験報告書	材料構造部 構造研究室	委託試験報告書 (建設省土木 研究所)	38.3
	長大つり橋の耐震性を検証するためには実橋の振動特性を知る必要がある。本振動実験は特性を規定する固有振動数、減衰係数、振動波形を求めるために行われた。			

N-9	新天竜川橋脚振動実験	栗林 栄一 岩崎 敏男	研資 149	41.3
	本橋の杭基礎橋脚およびケーリン基礎橋脚の振動実験から卓越した共振が現れないことを報じている。			
N-11	新葛飾橋振動試験	栗林 栄一 岩崎 敏男	研資 150	41.3
	新葛飾橋の耐震実験	高田 孝信 栗林 栄一 岩崎 敏男	土木学会 第7回地震工学 研究発表会	39.10
	新葛飾橋の振動試験	大久保 忠良 栗林 栄一 岩崎 敏男	第8回 日本道路会議	40.10
	橋脚、上部構造架設後の振動試験から、共振同期、減衰定数、地盤係数を求め、ケーソン形式橋梁の固有周期の簡単な算出法を提案している。			
N-111	平井橋々脚載荷試験	栗林 栄一 岩崎 敏男	研資 151	41.3
	平井橋（東京都）の静的な水平載荷試験および動的な振動実験の一次解析の結果を報告している。			
N-112	橋梁下部構造の振動実験調査結果	栗林 栄一 岩崎 敏男	研資 152	41.3
	土木研究所において昭和33年～昭和40年の間に実施した橋梁振動実験をまとめたもので、主として下部構造に関する実験結果をとりまとめている。			
N-113	鳥井大橋振動試験	岩崎 敏男 小山田 欣裕	研資 342	43.2
	井筒基礎を有する橋脚の振動試験の結果、同基礎の固有振動特性を明らかにし、さらに周辺地盤の動的な地盤係数（K値）ならびに弾性係数Eを求めた。			
N-114	底沢橋々脚振動試験報告書	岩崎 敏男 若林 進隆 永井 英一 森山 英一	研資 346	43.3
	ロケットを利用した高橋脚の振動実験 —— 中央高速道路・底沢橋	大久保 忠良 岩崎 敏男	道路 43.5月号	43.5
	従来の起振機による試験と共に新しい試みとして、小型ロケットの推力を利用して、自由振動を生起させる試験を実施した。 これらの試験によつて、従来データの少かった鉄骨鉄筋コンクリート製高橋脚の振動性状に関する有用な資料を得た。			

V 構造物の耐震性と地震応答解析

資料 No	題 目	著 者	出 典	年 月
V - 1	ロッキングを伴う塔状建造物および橋梁の耐震性	高田 孝信	技資 2-11	35.1
	構造物の耐震性は一般的にいつてロッキング、強制振動、弾性固有振動の三つの振動性状により検討すべきである。 ロッキングに対して最も大きな影響を与えるものは基礎地盤の剛性で、最近の耐震設計法では概念的にはすでに考慮されつつあるが、数理論的根拠を欠いている。 本報告では、基礎地盤の剛性を考慮した場合、ロッキングを起しやすい塔状建造物や橋梁の耐震性に対してロッキングがいかなる影響を与えるかを Dywidag 方式 P. C 橋の嵐山橋の場合を例にとり、その耐震性に対するロッキングの影響を示したものである。			
V - 2	天竜川橋橋脚損傷度調査報告書 (振動試験利用による)	構造研究室	委託試験報告書 (建設省土木研究所)	35.3
	旧天竜川橋上、下部構造の振動実験結果と同地方の地震被害の状況等からその耐震度を求めた。			
V - 3	振動試験による損傷橋脚の安定性調査について	高田 孝信 栗林 栄一	土木学会 第15回年次学術講演会概要集	35.3
	旧天竜川橋下部構造の損傷度調査結果ならびに橋梁下部構造の固有周期算出法について述べている。			
V - 4	天竜川橋橋脚の損傷度調査	高田 孝信 三浦 孝雄 栗林 栄一	技資 2-8	35.8
	旧天竜川橋々脚のほとんどは過去の地震によつて大きい亀裂が入っている。また不等沈下基礎付近の河床低下による根入長の損失など一見して危なげな要素が重複して散見されている。昭和34年度、土木研究所は、中部地建の依頼によつて、主として本橋の地震時安定性に重点をおいて調査を行つた。 本文では主として調査方法と調査結果についてその概略を述べ、あわせて振動時における地盤の側方基礎係数と橋脚の側方変位について2.3の考察を行つている。			
V - 5	デビダグ方式 P. C 橋の振動性状と その耐震性に関する研究	横田 周平 高田 孝信 手塚 豊	所報 107	36.4
	我国で初めて架設された Dywidag 方式 P. C 橋の嵐山橋に対する振動実験結果とそれを基にして同橋の水平横方向の振動特性を理論的に求めて Dywidag 方式 P. C 橋の耐震性の傾向を示したものである。 この耐震性に及ぼす要素は構造的に見て可成り複雑であり、地盤の支持剛性の影響は極めて大きい。又耐震性の検討は橋軸方向よりはむしろこれに垂直方向の場合に対して重視すべきである事が判明した。			

V-6	橋脚の耐震性について (I)	栗林 栄一	技資 3-5	36.5
	橋梁の震害の一般的な特徴および構造物の地震時における振動現象に対する振動論的考察について述べている。 その結論として、現在広く行なわれている橋りよりの耐震設計法すなわち震度設計法の改善の方向が、共振問題に結びついていくことには疑問となる点があることを論じ、経済性および正確度の観点から過度振動の問題として、取り扱って行く方がより優れていることを示し、このためには実橋および地盤における自然地震時の強震観測が特に必要であることを説いている。			
V-7	橋脚の耐震性について (II)	栗林 栄一	技資 4-1	37.1
	橋梁の震害例を示しながら、橋梁の耐震構造上の欠点について述べ、あわせて改善の経過を述べている。同時に強震観測の結果得られた資料の実用化の方向および耐震設計の現況などに触れている。			
V-8	杭基礎橋脚の振動特性について	大久保忠良 栗林 栄一	土木学会 第16回年次学術講演会概要集	36.5
	四個の杭基礎橋脚の振動実験の結果から、地盤の土質によつては異常に大きな減衰定数が得られることを報告している。			
V-9	橋梁杭基礎の振動時の弾性および減衰性について	栗林 栄一	地震工学会国内シンポジウム (1962)講演集	37.11
	七個の杭基礎構造の実験結果から動的な復元性と仮想質量および減衰定数間の関係を求めた。			
V-10	新潟地震調査資料			
	No.1 昭和大桥の実測による振動特性調査	高田 孝信		39.10
	No.2 " 耐震規定による検討	大久保忠良		40.2
	No.3 " 地震応答調査	栗林 栄一		40.2
	No.4 八千代橋の地震応答調査	岩崎 敏男		40.2
V-11	Base Ground Disaters due to Earthquake	福岡 正巳	英文所報 Vol.11	41.
V-12	昭和大桥の震害と動的解析の結果について	大久保忠良 栗林 栄一 岩崎 敏男	第8回 日本道路会議	40.10
	昭和大桥の震害と動的解析	"	科技厅 防災 センター報告	41.3
V-13	多スパン・デビダグ方式PC橋の振動性状と耐震性について... 天草連絡道路四号橋	高田 孝信 栗原 哲 栗林 栄一	所報 128	40.3
	天草連絡道路四号橋は主径間長146m3連のデビダグ方式P.C橋で、震度法による耐震性については水平震度0.15、鉛直震度0.1として十分考慮して設計されているが、本橋は径間長が大きく、しかも多径間であること、カンテレー橋の一種であるので橋軸直角方向の加振に問題があることが懸念されたので、水平橋軸直角方向の地震を受けた場合にいかなる挙動を呈するかを調べるとともに、その耐震性を検討している。			

V-13	本橋のような長大スパン橋では主ゲタに対して動的性状の影響が顕著に現われ、従来の静的震度法の適用がかなり危険であること、多スパンでは相隣れる主ゲタ間の相互干渉により主ゲタに対する曲げモーメントを増大せしめていることがわかった。なお、このような長大スパン橋では個々の地震波形よりも地震の持続時間の影響が大きいように思われる。			
V-14	吊橋上部構造全橋模型による振動実験	栗林 栄一 小山田 欣裕 若林 進 高安 榮 永井 寿隆	研資 182 " 183 " 283 " 326	41.5 41.5 42.5 43.3
V-15	松代群発地震に関する特別研究報告	土木研究所	特別研究報告書	42.6
	昭和40年8月3日に端を発した松代群発地震は、震源深度が非常に浅く、個々の地震の規模は小さいが、局部的には激しい地震動を生じている。この間、茶臼山地すべり地帯の他、新たな地すべりが生じた。又松代町周辺の千曲川堤防に約300mの間にわたって堤軸方向に亀裂を生ずるなど、土木構造物でも数々の被害を生じている。 土木研究所においては、昭和41年度に特別研究として松代群発地震に関する研究をとりあげ、各方面の調査研究の総合的な推進に努めている。			
V-16	実在建物の振動性状と地震応答に関する資料	岩崎 敏男 三牧 勉	研資 301	42.10
	海峽連絡のための長大橋の下部構造は従来の土木構造物に余り例をみなかつた規模になることが予想され、その地震時の挙動については詳らかではない点も多い。 本州四国連絡架橋の設計試案では、長径間吊橋の下部構造となるケーソン基礎はその規模外形、寸法が巨大建築物に近いものである。 建築物については、耐震設計に関する多くの調査研究がなされているので、大型ケーソンの振動特性を判断する上での資料となりうると考えられる。 本資料は、これらの公表されている文献から、実物建築物に関する振動性状および地震時の動的挙動に関する資料ならびにその素解析の結果を紹介している。			
V-17	非線型応答解析の普遍性と適用例	栗林 栄一 岩崎 敏男	土木学会第23 回年次講演会	43.10
V-18	橋梁の振動減衰の一評価法について	"	"	"
V-19	有明海締切堤防調査報告書 第6章 締切堤の耐震性	栗林 栄一 岩崎 敏男	研資 442	44.3
	本資料は有明海締切に伴う技術的問題を解明するために行われた調査研究のうち締切堤の耐震性に関する調査報告である。 有明海地方に影響を及ぼした既応の地震調査、締切堤防の建設予定地点の基礎地盤の振動特性を求めるために常時微動調査及び建設予定地点付近における実際の地震動の観測調査を行つた。 また堤体構造の大矢野線最深部断面の1/200二次元模型を作成し、加振実験を行つて、堤体の耐震安定性を検討した。堤体の地震時における変形の検討として平均応答スペクトルによる動的検討を行つている。			

VI 耐震設計法

資料No	題 目	著 者	出 典	年 月
VI-1	地震荷重に関する調査（吊橋の地震荷重）（其の一） 所報128号の基礎的データーを詳述しているもの。 本資料は39年10/5.6の本四連絡橋調査担当官会議資料としてまとめられたものである。	高田 孝信 大久保 忠良 栗林 栄一	研資 296	39.9
VI-2	地震荷重に関する調査（吊橋の地震荷重）（其の二） 前資料（研資296号）では、地震応答の平均的スペクトルを“包絡線”という考え方から求めたが、これでは異常に大きな特異点を代表する値になってしまうので、本資料では平均値の包絡線を求めることによって全体を代表する平均応答スペクトルを求めた。 この応答スペクトルを用いて、地盤の水平震度が重力の20%である場合の吊橋各部の設計震度を、吊橋のモデルを想定し、あるいは既に固有振動数が求められている。各国の吊橋の例を用いて、その概略の値を求めた。吊橋の動的応答を考慮した震度法（応答を考慮した修正震度法とよばれる）を提案しており後に本四耐震設計指針の骨格となつた。	高田 孝信 大久保 忠良 栗林 栄一	研資 58	39.10
VI-3	長大橋の設計震度について 本州四国連絡橋としての吊橋の設計震度を、地震応答曲線と吊橋の固有振動特性から求めた。	高田 孝信 大久保 忠良 栗林 栄一	第11回 構造工学研究 発表講演会	39.11
VI-4	橋梁の耐震設計に関する研究 (I) —地震応答スペクトル、1964— 日本国内で観測された強震の記録（1956年から1964年6月までの間の6個の地震28成分の加速度の記録を対象）によつて地震応答スペクトルを求め、特に長大橋梁のような長周期構造物への応用性をも考慮して、固有周期が0.1秒から20秒までの地震応答スペクトル曲線を提案した。	高田 孝信 大久保 忠良 栗林 栄一	所報 128	40.10
VI-5	地震荷重による吊橋上部構造の応力算出について 地震荷重による吊橋上部構造の応力算出について （改訂 1） 地震時の吊橋上部構造の応力計算に際しての地震荷重、下部構造の影響等について述べたものである。	橋梁研究室 橋梁研究室	研資 31 研資 135	40.5 41.1
VI-6	吊橋下部構造の地震荷重および地盤反力算法 本文は非線形的な挙動を示す吊橋下部構造の地震荷重の算法とそれによる地盤反力の算法について述べたものである。	大久保 忠良 栗林 栄一	研資 83	40.5

VI-7	吊橋下部構造の地震荷重について	栗林 栄一 岩崎 敏男	研資 142	41.2
	前資料(研資83号)では相対的に根入の浅いケーソンの変形特性の一般的傾向および地震荷重ならびに地盤反力の算出に対して基本的な考慮を行った。しかし実際のケーソンに適用した場合に疑似線型弾性領域では、動的変位と動的考慮のもとに求められた荷重による静的な算式による変位の間にかなりの差が見出された。 この差は主として疑似線型弾性領域を線型弾性領域として近似した点に起因するものである。したがって本資料ではその矛盾点を解消するために構造物に入射する地震時のエネルギーを考慮して、地震荷重を求めた。また相対的に根入の深いケーソンを対象としたケーソンの変形特性に対する考慮を行ない算式を求めた。			
VI-8	動的応答を考慮した吊橋全橋の設計震度について	栗林 栄一	土木学会第21 回年次学術講演 会概要集	41.5
	吊橋上下部構造の弾性応答を考慮した設計震度を提案している。			
VI-9	本四連絡架橋調査概要	栗林 栄一 岩崎 敏男 小山田 欣裕	研資 216	41.10
VI-10	本州四国連絡橋技術調査報告	土木学会	委託報告書	42.7
VI-11	ボスボラス橋耐震設計示方書	国 建 協	委託報告書	42.11
VI-12	橋梁の耐震設計に関する研究 (Ⅲ)	栗林 栄一	所報 136号	44.7

Technical Memorandum of the Public Works Research Institute

No. 532

Review of Recent Studies on Earthquake Engineering
at the Public Works Research Institute

(Draft)

July 1969

The Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Preface

Undoubted recent-development in economical phase of Japan has brought the big construction to the governmental investment for public facilities.

Meanwhile, Japan is located in the circum-Pacific seismic zone and is not actually to be able to fade away from one of the countries subjected to the severest earthquake effects which mostly induce a great amount of increment of costs for the construction.

Conventional criteria so-called seismic coefficient method for earthquake resistant design is completely rational for ordinary size structures, in practical meanings, but not considerably for big-size structures. Therefore, reasonable criteria should be basically established for them and the application shall economy in expenditure.

For the purpose of the establishment, the Public Works Research Institute has contributed remarkably in the field survey on strong motion observation, and the research in evaluation of dynamic characteristics getting through field tests and analyses for the strong motion record and structural response during earthquakes.

In this note, the recent research shall be introduced as follows classified into six items,

- I. Survey on damages caused by earthquakes,
- II. Observation and utilization of strong motions,
- III. Laboratory tests,
- IV. Field tests on structures and foundation grounds,
- V. Criteria on evaluation of resistibility and response analyses of structures subjected to earthquakes and
- VI. Criteria on earthquake resistant design.

In this decade, the research tends to clarify, confirm and refine the design criteria for such structures related to the social investment, for instance long-span and deep-foundation suspension bridges and prefabricated tube tunnels. Meanwhile, the stability of natural slopes of the land is considered in the research related to preservation of the nature.

These excellent reports introduced herein are convinced of carrying invaluable information on Earthquake Engineering.

July 28, 1969

Earthquake Resistant Structure Section
Public Works Research Institute
Ministry of Construction
12-52 Anagawa-4, Chibashi, JAPAN

CONTENTS

PREFACE

- I. Examinations of the Damages due to the Earthquakes
- II. Observation of Strong-motion Earthquake and Application of its Results
- III. Model Experiments
- IV. Vibration Tests on Prototype Bridges
- V. Earthquake Resistance of Structures and Earthquake Response Analysis
- VI. Earthquake Resistant Design Method

I. Examinations of the damages due to the earthquakes

- | | | | |
|---|------------------------|--|-----------|
| I-1 Examinations of the damages of bridges due to earthquakes | T. Takata
Y. Tezuka | Civil Engineering Information Vol.1, No.10 | Jan. 1959 |
|---|------------------------|--|-----------|

With regard to the bridges on the Tenryu River, the damages due to the past earthquakes are examined.

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|------------|
| I-2 About the damages due to the tidal wave of the Chilean earthquake | Public Works Research Inst. | Civil Engineering Information Vol.2, No.6 | June, 1960 |
|---|-----------------------------|---|------------|

Reports of the examinations about the tidal wave of the Chilean earthquake	the same as the above	Civil Engineering Information Vol.2, No.12	Dec. 1960
--	-----------------------	--	-----------

There explains about the damages over the every places of the side of the Pacific Ocean of Japan due to the tidal wave accompanied with the earthquake of Chili in South America, May 23, 1960.

As the damage of the structures, the damages are seen in the levee or the revetment. They had a experience of the damages due to the tidal waves in past, so made the most of these precious experiences.

In addition to the examinations of these damages, this report represents the transformation of the tidal wave and the countermeasure for the tidal wave.

- | | | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------|
| I-3 Examinations into Damages and Behaviors of Public Works in Hyuganada Earthquake February 27th 1961 | Public Works Research Inst. | Report of P.W.R.I., Vol.113 | Dec. 1962 |
|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------|

There explains about the damages due to Hyuganada earthquake on Feb. 27, 1961. Though this Hyuganada earthquake had a big seismic coefficient, the damages were unexpectedly slight. This shows the result of the development of the earthquake resistant method. But a little damages were to be seen in the structures such as the subgrade or the banking etc., about which it has been said that it is necessary to establish the earthquake resistant consideration.

- | | | | |
|--|--------------------------------------|--|-----------|
| I-4 The mountainous region's fall due to north-Mino earthquake | M. Wutari
K. Miyajima
I. Izumi | Civil Engineering Information Vol.3, No.11 | Nov. 1961 |
|--|--------------------------------------|--|-----------|

There explains the fall of the mountainous region due to north-Mino earthquake.

The reconnaissances are done in Uchinami river line in Kuzuryugawa river system, Ushikubi river line in Tedorigawa river system and Ojira river line in Shogawa river system.

The reconnaissances represent that the new fall occurs on the steep ascent and the big scale fall occurs on the unstable accumulated sand in old fall region.

- | | | | | |
|-----|--|--|--|-----------|
| 1-5 | Report of the examination about the damages due to Tohoku earthquakes(I) | Y. Tada
M. Matsuno
K. Yamamura
E. Kuribayashi | Civil Engineering Information Vol.4, No.10 | Oct. 1962 |
| | Report of the examinations about the damages due to Tohoku earthquakes(II) | | Civil Engineering Information Vol.3, No.11 | Dec. 1962 |

There explains about the damages due to Tohoku earthquake on April 30, 1962.

The damages of the public structures are examined about next three items, bridges, roads and pavements, levees and river-structures. In the case of the bridges, on the Ego bridge the anchor-bolts at the support were cut and the shoes were waved and Kinko bridge is damaged partially. But most of other bridges were damaged little. In the case of the road, but for the prefectural highway near the seismic center, most roads were not damaged so greatly that it might be necessary to block the road. In the case of the river structures, there existed such damages as the crack of the levee body, the slope sliding accompanied with it, the sinking of the levee banking and the damages of the rivetments, retaining walls and sluices caused by the motion and the deformation of the levee. In addition to these the damages due to the fall at the mountainous region or the sliding were not occurred.

- | | | | | |
|-----|---|-----------------------------|---|-----------|
| 1-6 | Prompt Report of the examination about Niigata earthquake | Public Works Research Inst. | Civil Engineering Information Vol.6, No.7 | July 1964 |
| | Report of the examination about Niigata earthquake | Public Works Research Inst. | Report of P.W.R.I. Vol.125 | June 1965 |

There explains about the damages due to Niigata earthquake on June 16, 1964.

The prompt report is the result of the field investigation for a week.

The report is consisted of six chapters; chapter 1, introduction, chapter 2, Niigata earthquake and the character of the ground, chapter 3, damages concerned with the river, chapter 4, damages concerned with the road and the tunnel, chapter 5, damages concerned with the bridges, chapter 6, damages concerned with the sewerage.

The damages reached to Akita prefecture, Yamagata prefecture and Niigata prefecture and especially coastal regions were greatly damaged by the tidal wave. The national roads and the railways running by the coast line were damaged more. And the levees were sinked or broken here and there, but the most of the bridges but for in Niigata city were not damaged.

The character of the Niigata earthquake is the sand flow phenomenon. Reinforced concrete buildings with shallow foundation were inclined and the basic grounds were changed and so the basic piles of the abutments or the piers were damaged.

As the acceleration of the ground was 160 gal, so the structures with deep foundation or the structures on the well designed foundations and the good ground were damaged a little.

- I-7 Data of the examinations about Niigata earthquake T. Takata
T. Okubo
E. Kuribayashi
T. Iwasaki

No.1 examinations of the vibratory character by the actual measurement on Showa big bridge Oct. 1964

No.2 examinations by the prescript of the earthquake-resistance of the above bridge Feb. 1965

No.3 examinations of the earthquake response of the above bridge Feb. 1965

No.4 examinations of the earthquake response of the Yachiyo bridge Feb. 1965

- I-8 Base Ground Disasters due to Earthquake M. Fukuoka Journal of Research P.W.R.I. Vol.11 1965

Several damages upon structures are caused by weakening and movement of a base ground during an earthquake time. A loose, saturated sand becomes soft by liquefaction. Bearing capacity of base ground decreases accordingly. A sand layer composed of a liquefied sand is about 7 to 10m deep below a ground surface, and the surface layer on the liquefied sand layer moves horizontally.

This report gives some examples of damages caused by a base ground disaster during an earthquake time.

- I-9 About Niigata earthquake (July 16, 1964) (mainly about the damages on bridges) E. Kuribayashi Road, March 1966 Mar. 1966

- I-10 Damages due to earthquakes and the results of the dynamic analysis of Showa big bridge
 T. Okubo 8th Japan Road Committee Oct. 1965
 E. Kuribayashi
 T. Iwasaki
- Damages due to earthquakes and the dynamic analysis
 T. Okubo Science and Technology Mar. 1966
 E. Kuribayashi Agency
 T. Iwasaki

The cause of the drop of Showa big bridge due to Niigata earthquake is reasoned by the result of the field tests and the analysis. And it concluded that at the ground having the possibilities to be damaged under earthquake it is necessary to make the improved guide that regulates the deformation, indicates the connection between the every parts of the bridges to be good, in the case of the piers with pile-type recommends the parallel pile type and shows the earthquake resistant design that is consistant between upper and lower structures.

- I-11 Damages on the fill type structures due to earthquakes
 Earthquake- Bulletin of P.W.R.I., Oct. 1966
 resistant Vol.27
 Research
 Section

Arranging the references and the data of the examinations about the damages due to earthquakes of so-called fill type structures like the levee, the earth dam and rock-fill dam, etc, there represents the examples of the damages on 37 structures caused by 20 earthquakes.

- I-12 Landslip caused by Matsushiro earthquake
 T. Fujita Civil Engineering Information Vol.9, No.5 May 1967

There explains about the influence of the Matsushiro earthquake over the landslip region.

- I-13 Prompt Reports of the examinations about Off Tokachi earthquake
 Public Works Research Inst. Civil Engineering Information Vol.10, No.8 Aug. 1968

There explains about the damages in mainly Aomori prefecture and Iwate prefecture, Akita prefecture and Hokkaido Development Bureau caused by Off Tokachi earthquake on May 16, 1968.

As the examples of the damages of the structures caused by the earthquake, the school building of Hakodate College is mentioned. The building was constructed by a comparatively new construction technique, so it is necessary to investigate the caution.

In both cases, road or river, it is commonly said that the damages of the banking on the saturated soil are remarkable.

I-14 Report of the examinations of Off Tokachi earthquake in 1968	Public Works Research Inst.	Japan-America wind- and earthquake resistance speciality section	July 1968
Damages caused by Off Tokachi earthquake in 1968	E. Kuribayashi	Road, Nov. 1968	Nov. 1968

II. Observation of Strong-motion Earthquake and Application of its Results

II-1 Report of strong-
motion earthquake
records due to
Matsushiro earth-
quake

Data of
P.W.R.I.

Report No.1	E. Kuribayashi, T. Iwasaki	No.163	Apr. 1966
Report No.2	E. Kuribayashi, T. Iwasaki	No.194	July 1966
Report No.3	E. Kuribayashi, T. Iwasaki	No.254	Mar. 1967

Public Works Research Institute, Ministry of Construction and Kanto regional construction bureau set three strong motion accelerometers on Otiai bridge in Wakaho cho, Kamitakai gun, Nagano prefecture and in Nagano city, and observed strong-motion earthquake due to Matsushiro earthquake from December, 1965. These data suggest main strong-motion earthquake records which were recorded from December, 1965 to December, 1966.

Report No.1 from December 8, 1965 to February 28, 1966
Report No.2 from March 1, 1966 to June 22, 1966
Report No.3 ,,,from June 25, 1966 to December 5, 1966

Total times of earthquake which were recorded by these strong motion accelerometers are 409.

A) 327 data on piers of Ochiai bridge. B) 203 data on the ground of Wakaho cho; river bed near Ochiai bridge. C) 97 data on the ground of Nagano city. These total data are 627. These records contain 27 data of which maximum accelerations are more than 100 gal, and contain 6 data of which maximum accelerations are more than 200 gal. From these records, with earthquakes we presented the relation between the maximum acceleration of each elemental direction and its period, and sought period-frequency curve which have comparatively large acceleration. For the sake of detailed analysis for earthquake response, we represented main Matsushiro earthquake, 96 elements, in digital, and tried linear response spectral analysis and non-linear response spectral analysis using these digital quantities as input. From these analysis, it was proved that the non-linear characteristics appeared fairly clear in earthquake response of Ochiai bridge. In considering non-linear characteristics in response analysis, the response acceleration and the restoring force of return fairly decrease and the effect of damping becomes small, but the response deflection increases a little.

- II-2 Results of strong-motion Earthquake Observations of Matsushiro earthquakes for Road Bridge E. Kuribayashi, T. Iwasaki Civil Engineering Information Vol.8, No.10 Oct. 1966

Generality of Matsushiro earthquake and a few characteristics of strong-motion accelerographs from December 8, 1965 to June 24, 1966 were reported.

- II-3 Results of strong-motion Earthquake Matsushiro earthquakes on Ochiai bridge E. Kuribayashi, T. Iwasaki Japan Society of Civil Engineers, 9th meeting of Earthquake Engineering JSCE Oct. 1967

- II-4 Earthquake Observation of embankment for Matsushiro earthquakes S. Takeshita, Y. Sasaki Civil Engineering Information Vol.9, No.5 May 1967

In order to investigate behaviors of embankment in earthquakes, we set seismometers; Accelerometer of Carlson type, on the embankment of Chikuma river, and reported observed results.

- II-5 Primary report of investigation of ground motions in Japan; Matsushiro earthquake records of Susobana dam Structure Section P.W.R.I. Data of P.W.R.I. No.263 Mar. 1967

Susobana dam which was multi-purpose dam in Nagano prefecture was feared with intensification of Matsushiro earthquake in construction. By the result of committee of three members; Development Section, River Bureau, Ministry of Construction, Enterprise Bureau, Nagano prefecture, and Public Works Research Institute, Ministry of Construction, at February, 1966, we watched change of earthquakes, and continued the construction. Then we set strong motion accelerometers on base rock near the constructing point of dam, and observed the magnitude of earthquake acceleration at the dam. Since the start of the observation at Susobana dam, we obtained records, regardless of size, of 47 times from May 27 to October 26, 1966.

- II-6 Records of strong-motion earthquakes for Public structure 1966 earthquake resistant structure section P.W.R.I. Data of P.W.R.I. No.217 Dec. 1966

These records were observed from 1962 to December, 1966 by strong motion accelerometers which were set on public structures or on ground near them. Setting points of strong motion accelerometers are 36 as of

October, 1966. Setting points of electro magnetic seismometer are 21 as of October, 1966. Observed earthquake records are 201 data, and 73 data of these records are presented in this paper.

II-7	Records of strong-motion Earthquakes for public structure 1967	earthquake resistant structure section P.W.R.I.	Data of P.W.R.I. No.341	Feb. 1968
------	--	---	-------------------------	-----------

These records were observed from January to December, 1967 by strong motion accelerometers which were set on public structures or on ground near them. Setting points of strong motion accelerometers are 59 as of February, 1968. Setting points of electro magnetic seismometer are 22 as of February, 1968. The number of the earthquake records contained in this paper is 88 data which were observed by strong motion accelerometers and 5 data which were by electro magnetic seismometers.

II-8	Records of strong-motion Earthquakes for public structure 1968	Earthquake resistant structure section P.W.R.I.	Data of P.W.R.I. No.430	May 1969
------	--	---	-------------------------	----------

II-9	Observed earthquake responses of bridge	E. Kuribayashi, T. Iwasaki	4th WCEE	Jan. 1969
------	---	----------------------------	----------	-----------

III. Model experiments

III-1	A report of the vibration test of Tyuo-Road elevated bridge by a model.	Structure section P.W.R.I.	Report of the Trusted Experiment (P.W.R.I.)	Mar. 1961 Mar. 1962
	Report No.1			
	Report No.2			

The result of the geological survey on the objective point, the similarity of model, material test, trial production of model and the experimental method are reported. It is suggested that the elevated bridge on the ground having the greater stiffness is superior as the earthquake resistant structure.

III-2	An earthquake proofing experiment by a model of a pc rahmen elevated bridge	Structure section P.W.R.I.	Report of the Trusted Experiment (P.W.R.I.)	Feb. 1962
-------	---	----------------------------	---	-----------

III-3	On the vibrational fracture by the model of a pc rahmen elevated bridge	E. Kuribayashi		May 1962
-------	---	----------------	--	----------

III-4	An earthquake proofing experiment by the model of a pc rahmen elevated bridge (I)	E. Kuribayashi	Civil Engineering Information Vol.5, No.2	Feb. 1963
	(II)	K. Takada K. Kimura "	Civil Engineering Information Vol.5, No.3	Mar. 1963

The outline about the result of an earthquake proofing experiment by the model of a pc Rahmen elevated bridge which is constructed by Tokyo Expressway Public Corporation are reported. This experiment was performed in order to investigate the state of the longitudinal vibrational fracture and vibrational characteristics of a Rc and pc mixed structural Rahmen abutment (designed seismic coefficient 0.3, height under the girder 5m), which is constructed as a hinge supporting point of four continuous pc girder (total length 100m).

There are two models. The one is consisted of pc and Rc which are similar to the constitution of prototype bridge and its scale is 1/3.75. (this result is reported in (I).) Another is consisted of the synthetic resin (Rigolac) and its scale is 1/20. (This result is reported in (II).)

In the former, we primarily investigated the progressing state of the vibrational fracture and following it, the variation of vibrational characteristic and in the latter, we primarily investigated the primitive stress distribution not arriving to failure.

III-5	Vibration Test with	A. Kuribayashi	Data of	No.182	May 1966
	Full Model of Super	Y. Oyamada	P.W.R.I.	No.183	May 1966
	Structure of suspension	S. Wakabayashi		No.283	May 1966
	Bridge	H. Takayasu		No.326	Mar.1968
		T. Nagai			

In these papers, verified experiments with full model of super structure of three-spanned suspension bridge from a part of the earthquake resistant investigation of Honshu-Shikoku Bridge are reported.

No.182	The report of the model design
No.183	The report of the result of the static loading test (deflection of girder)
No.283	The principal vibration property test of main tower
No.326	An examination about the law of similarity of the model.

The earthquake response of the main tower

earthquake wave	Elcentro	N - S
	Kushiro	N - S, E - W
	Niigata	N - S, E - W

III-6	The earth pressure and	T. Iseda	Civil Engineering	Jun. 1967
	acceleration on the	H. Yamashita	Information	
	retaining wall in		Vol.9, No.6	
	Matsushiro Earthquakes swum			

The behavior of the structure accepting the earth pressure experimentally investigated. We constructed three experimental retaining walls around Ochiai bridge (height 1.5m width 2.0m), and equipped them accelerographs and earth pressure meters, and observed in ordinary time and in earthquake time.

III-7 An investigation of the indoor experiment about the increasing water pressure of the under water caisson in vibration	T. Iwasaki	Data of P.W.R.I. No.202	Oct. 1966
---	------------	-------------------------	-----------

An experiment about the virtual mass of the underwater columned structure in vibration	T. Iwasaki T. Minaki	Civil Engineering Information Vol.10, No.2	Feb. 1968
--	-------------------------	---	-----------

When we consider the under water structure in the deep depth of water, of the channel connected bridge, we must consider the increasing load (the dynamic water pressure) by the changing of the water pressure as one load in earthquake time.

It is said that the mass effect of water on the model must be considered in the dynamic analysis of the earthquake response about these structure.

In this experiment, we calculated the dynamic water pressure and sought for the virtual mass of the columned structures of which sections (primarily rectangular sections) are expected as the under water structures of Honshu-Shikoku connected bridge.

IV. Vibration Tests on Prototype Bridges

IV-1 Reports on investigations of Dokai bridge	Structure Section P.W.R.I.	Report of the Trusted Examination P.W.R.I.	Mar. 1959
--	-------------------------------	---	-----------

Static and dynamic tests by loading car were tried for super-structure, and phenomena of vibration by disturbing machine were measured. For foundations ground, standard penetrated tests were tried.

IV-2 Reports on vibrative experiments of Suruga big bridge piers	Structure Section P.W.R.I.	Report of the Trusted Examination P.W.R.I.	Mar. 1961
--	-------------------------------	---	-----------

Dynamic properties of piers consisting of pneumatic caisson foundations of ellipse type and behaviors of foundations ground were measured.

IV-3 Reports on vibrative experiments of Kurashikigawa-bridge piers	Structure Section P.W.R.I.	Report of the Trusted Examination P.W.R.I.	Mar. 1961
---	-------------------------------	---	-----------

Vibration properties on piers which were built on Benoto piles in ground of silty clay in Mizushima region, Okayama prefecture were sought, and it was reported that damping tendency was large particularly.

IV-4 Tokyo Expressway Public Corporation Reports on vibrative experiments of high- level bridges	Structure Section P.W.R.I.	Report of the Trusted Exami- nation P.W.R.I.	Mar. 1961
--	-------------------------------	---	-----------

In earthquake-proof design of high level bridge, vibration properties of longitudinal direction of piers are thought important. We give piers amplitude for getting datum regard damping in vibration properties. For that we tried vibration experiments using especially big disturbing machine.

IV-5 Reports on vibrative experiments of Ajigawa bridge piers	Structure Section P.W.R.I.	Report of the Trusted Exami- nation P.W.R.I.	Mar. 1962
---	-------------------------------	---	-----------

This bridge is located in area of weak ground in Osaka. In design, various devices to treatments for settlement of ground are contained. But we think that many problems are contained yet regard earthquake-proof design. In experiments, we measured vibration properties of bridge which was built on especially big well foundations.

IV-6 Reports and data about vibrative experiments of Shyonai Shinkawa bridge piers	Structure Section P.W.R.I.	Report of the Trusted Exami- nation P.W.R.I.	Mar. 1963 Feb. 1963
---	-------------------------------	---	------------------------

This bridge is built on steel pipe piles as foundations and the super structure is steel plate girder bridge of hinged type. Experiments were tried to seek vibration properties of one of this bridge piers.

IV-7 Reports and data (I), (II) about vibrative experiments of Ikadagawa bridge	Structure Section P.W.R.I.	Report of the Trusted Exami- nation P.W.R.I.	Mar. 1963 Feb. 1963
--	-------------------------------	---	------------------------

Experiments were tried to seek horizontal resistance of diagonal piles as foundations and of middle located piers. According to results, it was reported that horizontal resistance is very small.

IV-8 Reports on the stress test of Wakato bridge	Structure Section P.W.R.I.	Report of the Trusted Exami- nation P.W.R.I.	Mar. 1963
---	-------------------------------	---	-----------

In order to check earthquake-proof properties of long span suspension bridge, to know vibration properties of real bridge is necessary. This vibration experiments were tried to seek principal vibration, damping coefficient and vibration wave which provided peoperties.

IV-9 Vibrative tests of Shintenryugawa bridge piers	E. Kuribayashi T. Iwasaki	Data of P.W.R.I. No.149	Mar, 1966
---	------------------------------	----------------------------	-----------

By vibration experiments of pier of pile foundations and of pier of caisson foundations, it is reported that prevailed resonance does not occur.

IV-10 Vibrative tests of Shin Katsushika bridge	E. Kuribayashi, T. Iwasaki	Data of P.W.R.I. No.150	Mar. 1966
Earthquake-proof experiments of Shin Katsushika bridge	T. Takata, E. Kuribayashi T. Iwasaki	7th meeting of Earthquake Engineering J.S.C.E.	Oct. 1964
Vibrative tests of Shin Katsushika bridge	T. Okubo, E. Kuribayashi, T. Iwasaki	8th Japan Road Committee	Oct. 1965

By vibration tests of this bridge after super structure was built, Resonance period, damping constance and ground coefficient were sought, and simple calculation method for principal period of caisson type bridge was suggested.

IV-11 Loading tests of Hirai bridge piers	T. Okubo, E. Kuribayashi, T. Iwasaki	Data of P.W.R.I. No.151	Mar. 1966
---	--	-------------------------	-----------

Results of primary analysis of static horizontal loading tests and of dynamic vibration experiments are reported for Hirai bridge (Tokyo to).

IV-12 Reports on vibrative experiments about the sub-structure of bridge	T. Okubo E. Kuribayashi T. Iwasaki	Data of P.W.R.I. No.152	Mar. 1966
--	--	-------------------------	-----------

These are collections of vibrative experiments of bridge performed in Public Works Research Institute from 1958 to 1965 and of results of experiments about sub structure.

IV-13 Vibrative tests of Torii big bridge	T. Iwasaki Y. Oyamada	Data of P.W.R.I. No. 342	Feb. 1968
---	--------------------------	--------------------------	-----------

By results of vibrative tests of piers which were built on well foundations, properties of principal vibration for their foundations were made clear, furthermore dynamic ground coefficient (K-value) and Young's modulus (E) near the ground were sought.

IV-14 Reports on vibrative tests of Sokozawa bridge piers	Iwasaki, Wakabayashi, Nagai, Moriyama	Data of P.W.R.I. No.346	Mar. 1968
Vibrative experiments of high piers by rocket	T. Okubo T. Iwasaki	Road	May, 1968

We tried tests of making the free vibration by using the thrust of small rocket as new method, together with traditional disturbing machine. By these tests, we obtained useful data, which were insufficient up to this time, about vibrative properties of steel framed reinforced concrete high piers.

V. Earthquake Resistance of structures and Earthquake Response Analysis

- | | | | |
|--|-----------|---|-----------|
| V-1 Earthquake Resistance
of the structures like
tower and the bridges | T. Takata | Civil Engineering
Information
Vol.2, No.1 | Jan. 1960 |
|--|-----------|---|-----------|

In general speaking, the earthquake resistance of structures must be examined next three oscillation appearance, that is, rocking, forced vibrations and elastic characteristic vibrations. It is the stiffness of the basic ground that has a most important effect on the rocking; recently in the method of earthquake-resistant design it always becomes to be conceptionally considered, but it is lacking in the mathematical basis.

This report represents the influence of rocking on the earthquake proof, that is to say, if the stiffness of the basic ground is considered, taking such a example as Arashiyama bridge, P.C. bridge by Dywidag method, it is explained what sort of influence rocking may have on the earthquake-resistant of the structures like tower and the bridges that are apt to rock.

- | | | | |
|--|----------------------|---|-----------|
| V-2 Report of the examina-
tion about the standard
of the damage on the
Tenryugawa bridge's piers
(using vibration exami-
nation) | Structure
Section | Report of the
Trusted Exami-
nation | Mar. 1960 |
|--|----------------------|---|-----------|

From the results of the vibration examinations about the super and sub- structures of the old Tenryugawa bridge and the state of the damage in this region its degree of the earthquake-proof is obtained.

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|-----------|
| V-3 Examinations of the
stability of the damaged
piers by the vibration
examinations | T. Takata
E. Kuribayashi | Proc. of 15th annual
meeting of JSCE | Mar. 1960 |
|---|-----------------------------|---|-----------|

There explain the result of the examination about the standard of the damage on the sub- structures of old Tenryugawa bridge and how to calculate the natural periods of the sub- structures of it.

- | | | | |
|--|---|---|-----------|
| V-4 Examinations about the
standard of the damage
on the piers of
Tenryugawa bridge | T. Takata
T. Miura
E. Kuribayashi | Civil Engineering
Information
Vol.2, No.8 | Aug. 1960 |
|--|---|---|-----------|

Most of the piers of Old Tenryugawa bridge had big cracks caused by the earthquakes in past and moreover they sank irregularly and the river bed fall near the footing caused the lack of the depth of the foundation; so it seemed to be very dangerous state. In 1959, at a Chubu Chiken's request Public Works Research Institute examined mainly the stability of the bridge under earthquake. There mentions roughly about the way and the result of the examination and considers about the side basic coefficient of the ground and the side deformation of the piers under earthquake.

- | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------|-----------|
| V-5 Study about the vibratory character and its earthquake-proof of the P.C. bridge by Dywidag method | S. Yokota
T. Takata
Y. Tezuka | Report of P.W.R.I. | Apr. 1961 |
|---|-------------------------------------|--------------------|-----------|

The dynamic examination was done about Arashiyama bridge, that is the first P.C. bridge by Dywidag method in Japan, and the horizontal vibratory character was obtained theoretically using the results of the past examinations; so there represents the tendency of the earthquake-proof of the P.C. bridges by Dywidag method.

The elements that concern this earthquake-proof is very complicate from a point of structure, but the influence of the support stiffness of the ground is very great. Also it proves that it is more important to examine the earthquake-proof for transverse rather than for longitudinal.

- V-6 Earthquake-proof of
piers (I)
- E. Kuribayashi Civil Engineering
Information
Vol.3, No.5
- May 1961

There explains the general character of damages due to earthquakes of the bridges and the vibratory consideration to the phenomenon of the structures under earthquake. In conclusion, it is said that the point of the improvement on the present earthquake-proof design method, that is seismic coefficient design method, is not the problem of the resonance, but from the view of economy and accuracy is the problem of the transient vibration; also it is said that for this reason the observation of strong motion of the bridge and grounds under natural earthquake is seriously necessary.

- V-7 Earthquake-proof of piers E. Kuribayashi Civil Engineering Jan. 1962
Information
Vol.4, No.1

Showing the examples of the damages of the bridges due to earthquakes there explains the faults of the bridges concerned with the earthquake-proof structures and also explains the progress of the improvement. Simultaneously the direction of the practicalization of the data obtained by the observation of strong motion and the present condition of the earthquake-proof design are also referred to.

- V-8 Vibratory character of
the piers of the pile
foundation
- T. Okubo
E. Kuribayashi
- Proc. of 16th
annual meeting of
JSCE
- May 1961

It is reported that from the results of the vibratory experiments about the four piers of pile foundation abnormally great damping modulus may be obtained under certain circumstances of the soil of the ground.

- | | | | |
|---|----------------|---|-----------|
| V-9 Elasticity and damping of the pile foundation of the bridge under earthquake. | E. Kuribayashi | Proc. of National Symposium of Earthquake Engineering | Nov. 1962 |
|---|----------------|---|-----------|

From the results of the experiments about seven pile foundations structures, the relation among the dynamic stability, the imaginary mass and the damping modulus is obtained.

- V-13 An Investigation on T. Takata Report of P.W.R.I. Mar. 1965
 Vibrational Behaviors T. Kurihara Vol.128
 and Aseismicity of T. Kunihiro
 Multi-spans Dywidag-
 type P.C. Bridge...The
 Case of Amakusa
 Connecting 4th Highway
 Bridge

Amakusa connecting way 4th bridge has three spans and the main span is 146m, it is P.C. bridge by Dywidag method. Taking horizontal seismic coefficient 0.15 and vertical seismic coefficient 0.1, it is carefully designed. But, as this bridge has a long span and is multi-span bridge and is one of the cantilever bridge, so there was some anxiety for the transverse vibrations. So it is examined how it will behave under horizontal transverse earthquakes and the earthquake-proof is examined.

In conclusion, it is known that in the case of the long span bridge like this the dynamic condition have remarkable influence on the main girder, so the application of old static seismic coefficient method is dangerous; that in the case of multi-span the mutual intervention between near main girders will made the bending moment to the main girder great. And it seems that in the case of the long span bridges like this the duration of the earthquake has more influence rather than the each wave shape of the earthquake.

- V-14 Vibration Test with A. Kuribayashi Data of No.182 May 1966
 Full Model of Super Y. Oyamada P.W.R.I. No.183 May 1966
 Structure of Suspension S. Wakabayashi No.283 May 1966
 Bridge H. Takayasu No.326 Mar. 1968
 T. Nagai
- V-15 Report of especial Public Works Report of special Jun. 1967
 study of the Research study
 Matsushiro Inst.
 earthquake swum

The Matsushiro group earthquakes, that originated in Aug. 3, 1965, has a very shallow depth of seismic centre and though the scale of each earthquake is little, partially there occurs very violent earthquake motions.

On the other hand, in addition to the landslide zone of Chausu mountainous region, there occurs new landslides. Also public structures were damaged greatly; the levee axial crack of 300m long arose in Chikumagawa levee around Matsushiro town.

Public Works Research Institute takes the study about the Matsushiro earthquake swum as the special study in 1966 and makes every effort to develop synthetically the examinations and the studies in every direction.

V-16	Data for vibratory conditions and earthquake responses of the actual structures	T. Iwasaki T. Mimaki	Data of P.W.R.I. No.301	Oct. 1967
------	---	-------------------------	----------------------------	-----------

It is expected that the sub-structures of the long bridge for channel connection will be enormous scale and the behavior under earthquake is little known. In the tentative plan of design of the proposed Honshu-Shikoku bridges the sub-structure of long span suspension bridge, caisson foundation, is nearly a great structures from the point of the scale, the shape and the size.

Many examinations and studies about the earthquake-proof design of the structures are done and they will be good data for judging the vibratory character of the great caisson.

In this data, from these published references, the data about vibratory character of actual structures and the dynamic behavior under earthquake and the result of the prime analysis are showed.

V-17	Universality and examples of application of non-linear response analysis	E. Kuribayashi T. Iwasaki	Proc. of 23th annual meeting of JSCE	Oct. 1968
V-18	An estimation of vibratory damping of bridges	E. Kuribayashi T. Iwasaki	Proc. of 23th annual meeting of JSCE	Oct. 1968
V-19	Report of examination of the closing levee at Ariake sea chapter 6 Earthquake-proof of the closing levee	E. Kuribayashi T. Iwasaki	Data of P.W.R.I. No.442	Mar. 1969

This is the report about the earthquake-proof of the closing levee picked up from the studies to settle the engineering problems accompanied with closing Ariake sea.

The examinations of the past earthquakes that had the influence on Ariakekai region, the usual tremor examination to obtain the vibratory character of the basic ground at the estimated building place of the closing levee and the observation of the actual earthquake motion in the neighbourhood of the estimated building place were done.

Using the model of the deepest levee body at the Oyano-line, two-dimensions and the scale of one to two hundreds, the vibratory experiments were done and the earthquake-proof stability of the levee body was examined.

As the examinations of the deformation of the levee body under earthquake the dynamic examinations with the average response spectrum

VI. Earthquake Resistant Design Method

VI-1 An investigation about T. Takata Data of P.W.R.I. Sep. 1964
the earthquake load T. Okubo No.296
(earthquake load of E. Kuribayashi
suspension bridge)(No.1)

This explains the basic data of Report of P.W.R.I. (No.128), in detail. This was arranged for the data of the proposed Honshu-Shikoku bridges investigator conference in Oct. 5, 6, 1964.

VI-2 An investigation about T. Takata Data of P.W.R.I. Oct. 1964
the earthquake load T. Okubo No.58
(earthquake load of E. Kuribayashi
suspension bridge)(No.2)

In the past data (Memorandum of P.W.R.I. No.296) the average spectrum of seismological response was obtained based on the idea "the average of parabola." But taking this way, it usually becomes the value that represents the abnormally great singular point. So, in this data, the average response spectrum that represents the all points is obtained after having "the parabola of the average value."

Using this response spectrum, when the horizontal seismic coefficient is 20 per cent of a gravity, the summary design seismic coefficients of every part of a suspension bridge was obtained by supposing a model of a suspension bridge or referring to the examples of suspension bridges in many countries that characteristic number of ascillations was known.

This seismic coefficient method considering the dynamic response in a suspension bridge, that is called modified seismic method considering the dynamic response, was proposed, and afterward became a basis of the earthquake resistant design of the proposed Honshu-Shikoku bridges.

VI-3 The design seismic T. Takata Proc. of 11th Nov. 1964
coefficient of a long T. Okubo meeting of bridge
bridge E. Kuribayashi and structural
engineering

The design seismic coefficient of the suspension bridge of the proposed Honshu-Shikoku bridges is obtained by using the seismological response curve and characteristic oscillation character of a suspension bridge.

VI-4 Studies on Earthquake T. Takata Report of P.W.R.I. Oct. 1965
Resistant Design of Bridges No.128
Part I - Earthquake
Response Section, 1964 -

From the record of many strong earthquake observed in Japan, that includes six earthquakes and twenty-eight components of acceleration from 1956, to 1964, June, the seismological response spectrum was obtained, especially considering the applicability to the structural

having a long period like a long bridge the seismological response spectrum corresponding the characteristic period from 0.1 sec to 20 sec is proposed.

VI-5	The calculation of stress of a super structure of a suspension bridge due to the earthquake load	Bridge Section	Data of P.W.R.I. No.31	May 1965
------	--	----------------	------------------------	----------

The same as the above (revision 1)	Bridge Section	Data of P.W.R.I. No.135	Jan. 1966
------------------------------------	----------------	-------------------------	-----------

There explains the influence of the earthquake load and the lower structure over the stress calculation of the super structure of the suspension bridge under earthquake.

VI-6	Method of calculation of the earthquake load and ground reaction of the sub structure of a suspension bridge	T. Okubo E. Kuribayashi	Data of P.W.R.I.	May 1965
------	--	----------------------------	------------------	----------

There explains the method of the calculation of the earthquake load and the ground reaction corresponding to it of the sub structure of a suspension bridge that represents the non-linear behavior.

VI-7	Earthquake load of the lower structure of a suspension bridge	E. Kuribayashi T. Iwasaki	Data of P.W.R.I. No.142	Feb. 1966
------	---	------------------------------	-------------------------	-----------

In the fore data, some basic consideration about the general tendency of the deformation character, the earthquake load and the ground reaction of the caisson that has relatively shallow foundation was done. But the practical application to the caisson showed that in the quasi-linear elastic state there exists not a little difference between the dynamic deformation and the deformation calculated by a static equation using the load obtained under dynamic consideration. The difference is caused by the approximation that the quasi-linear elastic state is assumed to be the linear elastic state. So, in this data, in order to dissolve the inconsistency, the earthquake load is obtained considering the incident energy of an earthquake. Also the consideration about the deformation character of a relatively deep caisson was done and some equations were obtained.

VI-8	The design seismic coefficient of the suspension bridge itself considering the dynamic response	E. Kuribayashi	Proc. of 21st annual meeting JSCE	May 1966
------	---	----------------	-----------------------------------	----------

The design seismic coefficient considering the elastic responses of the super- and sub-structure of a suspension bridge is been proposing

VI- 9 An outline of the examination of the Hon-Shi connecting bridge	E. Kuribayashi T. Iwasaki Y. Oyamada	Memorandum of P.W.R.I. No.216	Oct. 1966
VI-10 A report of the technical examination of the Hon-Shi connecting bridge	JSCE	Report of Trusted Investi- gation	Jul. 1967
VI-11 Specification for earthquake resistant design of the Bosphorus bridge	Government of Japan Inter- national Engineering Consultants Association	Report of Trusted Investi- gation	Nov. 1967
VI-12 Studies on Earthquake Resistant Design of Bridges Part II	E. Kuribayashi	Report of P.W.R.I. Vol.136	Jul. 1969