

旧梅田入路の撤去に伴う調査・実験の概要

工務部調査役 林 秀 侃

まえがき

阪神高速道路11号池田線の旧梅田入路は、JR大阪駅西側の西梅田地区に位置していたが、この度、西梅田再開発事業の一環として、移設されることになり、閉鎖・撤去されることになった。旧梅田入路は昭和39年10月に建設に着手され、昭和40年12月の供用開始以来、平成元年8月15日に閉鎖されるまで24年間使用されてきたもので、この入路の上・下部構造物を試験体として利用できるというまたとない機会を得た。そこで、これらの構造物を対象として、

- ①経年構造物の実態調査により耐久性設計や維持管理の観点からの種々の評価を行う。
- ②弾性範囲を越えた領域の載荷実験を行い、各種構造物の塑性域での挙動、終局耐力や破壊性状を把握する。
- ③今後の橋梁構造物の建設および維持管理に寄与する新技術開発への方向性を提案する。

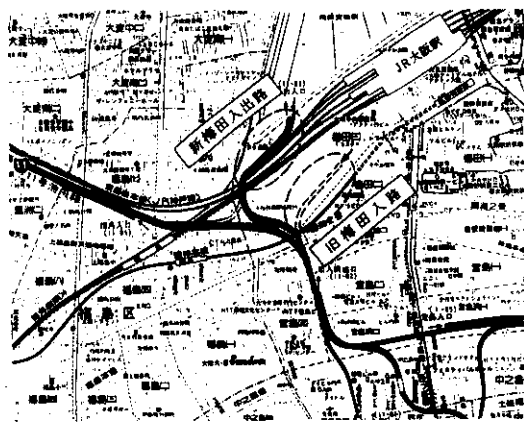


図-1 旧梅田入路位置図

などの観点から各種の調査および実験を実施した。

実施した調査研究は供用中の橋梁構造物を利用して行うことが難しく、実構造物を撤去するという条件を最大限に活かすことを主旨としたものである。これらの調査および実験の成果は、今後の橋梁構造物の設計・施工・維持管理や、将来、設計手法の主流となるであろう限界状態設計法における貴重なデータとなるものと期待される。

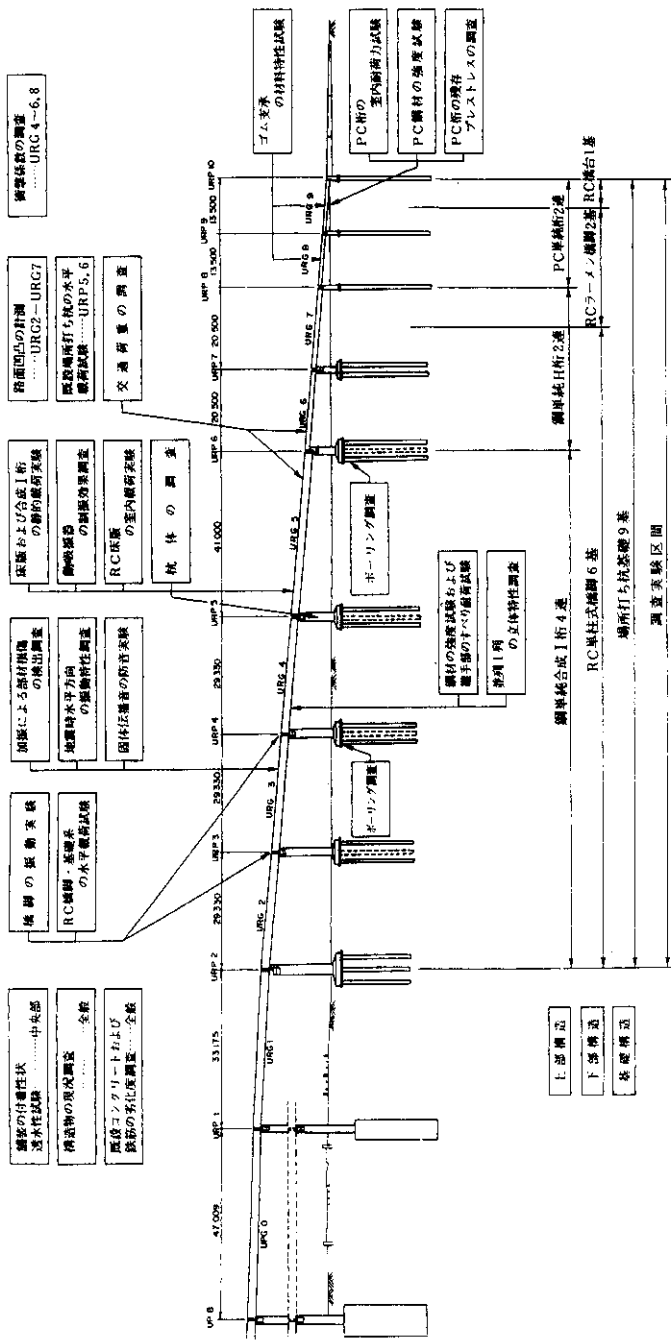
本文は、このような旧梅田入路構造物を利用した調査・実験の概要を紹介するため、詳細な報告として既にとりまとめられている「旧梅田入路構造物に関する調査研究報告書」を要約したものである。

1 旧梅田入路の概要

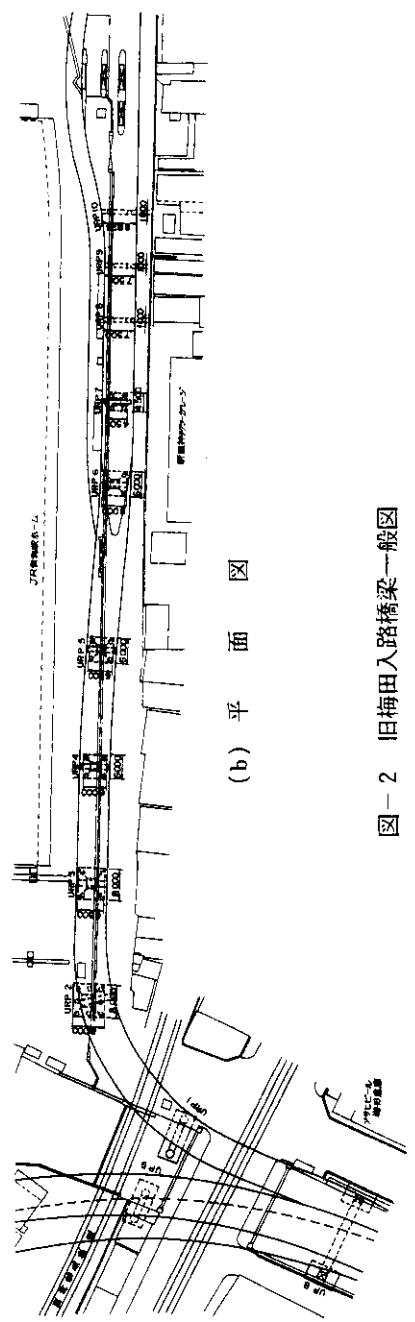
供用開始以来ほぼ24年を経た阪神高速道路11号池田線（空港線）の旧梅田入路は、西梅田地区再開発計画の一環として閉鎖し、これに近接して新たな梅田入路が建設されることになった。これは増大する環状線からの交通量に対して梅田入路を新設するとともに、同時に入路を移設して入出路を一体的に整備することになったもので、そのために旧梅田入路の上部構造と下部構造のすべてを撤去することになった。

これらの位置関係を図-1に示す。また、橋梁一般図を図-2に示す。

旧梅田入路の橋梁区間はUP8～UP10であり、上部構造は鋼単純箱桁2連、鋼単純合成I桁4連、鋼単純H桁2連、およびPCプレテン単純桁2連からなる。また、下部構造は本線に含まれるUP8橋脚を除いて、RCラーメン橋脚3基、RC単柱式橋脚6基、RC橋台1基よりなり、い



(a) 側面図



(b) 平面図

図-2 旧梅田入路橋梁一般図

ずれも杭基礎形式となっている。

旧梅田入路の建設時における設計条件を表-1に示す。

表-1 旧梅田入路の設計条件

橋 格	I 等橋	
活 荷 重	TL-20荷重	
標準幅員	W=7.500m (全幅)、We=6.500m (有効幅員)	
設計水平麗度	K _s =0.25	
床 版	鉄筋コンクリート床版	t=170mm (鋼桁)
	コンクリート許容圧縮応力度	$\sigma_{cc} = 80\text{kgf/cm}^2$
	鉄筋 (SSD49) 許容引張応力度	$\sigma_{ss} = 1800\text{kgf/cm}^2$
鋪 装	アスファルト舗装 t=75mm	
使用材料	鋼 桁: 主要鋼材 (SS41/SM50)	
	P C 桁: コンクリート	$\sigma_{cc} = 500\text{kgf/cm}^2$
	場所打中筋コンクリート	$\sigma_{cc} = 250\text{kgf/cm}^2$
	PC鋼線 (φ 2.9)	$\sigma_{ps} = 195\text{kgf/mm}^2$
	横締めPC鋼線 (φ 24)	
	R C 橋脚: コンクリート	$\sigma_{cc} = 240\text{kgf/cm}^2$
	鉄筋 (SSD49/SS41)	$\sigma_{ss} = 1600\text{kgf/cm}^2$
	場所打ち杭: コンクリート	$\sigma_{cc} = 240\text{kgf/cm}^2$
	鉄筋 (SSD49/SS41)	$\sigma_{ss} = 1600\text{kgf/cm}^2$
適用示方書	鋼筋路橋設計示方書	S31年、改定案 (S39年に改定)
	鋼筋路橋の合成桁設計施工指針	S34年、改定案 (S40年に改定)
	溶接鋼道橋示方書	S32年、改定案 (S39年に改定)

2 調査研究の内容

調査研究の対象とする旧梅田入路の橋梁区間について、まず調査研究の目的に従って可能な限り種々の実験や試験等を立案した。提案された調査研究の内容には多種多様なものが含まれ、それぞれ有意義なものであった。

しかしながら、何よりも調査研究の供試体として利用できる橋梁構造物に限りがあり、かつ時間的にも旧梅田入路の撤去計画に即応して実施することが重要な条件の一つであった。また、調査研究に必要な費用の問題、実験等の安全性に対する配慮、同じく使用できる機材やスペースの確保から見た可能性、および実験や試験の具体的な目的と得られる知見や成果についての有効性等を総合的に判断した結果、実施可能な調査研究の内容として、表-2 (その1) ~ (その3) に示すものを選定した。同表には各調査項目ごとに、具体的な調査目的、調査方法、得られる成果の意義等を

まとめて示している。

これらの調査・実験を実施する構造物としては、将来的にも利用するUP8~URP1区間の構造物、および施工条件から早期に撤去されるURP1~URP2区間の上部構造(URG1)を調査研究の対象から除外し、残る橋梁区間URP2~URP10の構造物を活用することにした。

各調査項目の内容とその対象箇所とを図-2にあわせて示す。

3 全体工程

旧梅田入路構造物の撤去に伴う調査研究に対して、まず現地の工程から受ける制約条件は次のとおりであった。

- ①1989年8月15日: 入路閉鎖
 - ②1990年3月末日: 地上部の全構造物の撤去完了
- したがって、上記の期間内に上部構造から、順次撤去工事が始まり、これと併行して現地での調査作業を実施した。

なお、調査研究の計画立案はもちろんのこと、事前調査の一部や実験等の準備作業は、可能な限り先立って進めた。本調査研究の開始から成果のとりまとめに至る全体工程を表-3に示す。

4 成果の概要

旧梅田入路構造物に関する調査研究で得られた成果の概要を以下に記述する。

4-1 事前調査

旧梅田入路の橋梁構造物に関する各種の実験等に先立って、構造物の点検調査、交通荷重の実態調査、構造物の補修履歴および地質調査を行った。

(1) 構造物の点検調査

「道路構造物の点検標準(土木構造物編)昭和60年9月阪神高速道路公団」の定期点検要領に準じて、接近して目視により調査した。調査の結果、24年間の供用後も全体的に健全な状態で、橋梁の耐荷力を低下させるほどの損傷はみられなかった。

(2) 旧梅田入路における交通荷重

表-2 旧梅田入路の撤去に伴う調査研究の内容(その1)

調査実験項目	調査実験目的	調査場所	対象 構造物	調査方法	調査実験結果の意義	
事前調査	構造物の点検調査	橋梁構造物の現況を点検し、他の調査実験の基礎データを得る。	現地	全般	点検車により、構造物に接近し、たたと目視による調査	他の調査実験の基礎データとして必要である。
	交通荷重の実態調査	交通荷重の実態を測定し部材の損傷評価の基礎データを得る。 荷重測定法の開発実験	現地	URG5 URG6	次の3つの方法で、週日、休日の2日間(各24時間)の荷重を測定する。 ① ゴム光ファイバー法 ② 主桁たわみ法 ③ コンクリートクラック法	旧梅田入路の荷重実態を求めて他の調査実験に活用する。 簡易な荷重測定法を開発するためのデータを収集する。
	構造物の補修履歴調査	旧梅田入路構造物の建設時点以降の補修履歴を調べる。	—	全般	補修台帳を中心に調査	調査対象の構造物や材料が建設時点のものかどうかを明確にする。
	地質調査	水平載荷試験実施位置近傍のボーリング調査	現地	URP4 URP6	N値測定、ボーリング孔内水平載荷試験、室内土質試験を行う。	RC橋脚の水平載荷試験・振動実験、場所打ち杭水平載荷試験の検討に必要な地盤状況を把握する。
材料試験	コンクリート 鉄筋	外観調査	現地	全般 (各部位毎)	目視により、①ひびわれ状況 ②遊離石灰の流出 ③漏水の有無 ④錆汁 ⑤鉄筋露出、を調査する。[床版、橋脚(梁、柱)、フーチング、P.C桁、高欄、擁壁]	各構造部位の現状を把握する。
		経年後のコンクリート、鉄筋の機械的性質等を把握する。	現地	全般	コア採取、はつり等により調査する。 ① 圧縮強度、弾性係数、配合推定 ② C _v 、等価アルカリ量等 ③ 中性化深さ、鉄筋発錆 ④ 鉄筋、引張試験	コンクリート、鉄筋の経年変化を定量的に把握することにより、今後の耐久性設計への寄与を図る。
	非破壊検査の精度を検証する。	室内		非破壊試験と採取コアによる室内試験との比較によりコンクリートおよび鉄筋の劣化度調査手法の有用性を検証。 コンクリート劣化度調査 ① 浮き、空洞、② 強度、 ③ ひびわれ深さ 鉄筋劣化度調査 ① 鉄筋発錆、② 鉄筋かぶり	構造物の維持管理上、今後、重要となる各種非破壊試験の適用性を確認する。	
	経年後のRC構造物に設置するアンカーの耐力を調査する。	現地	適宜	既設コンクリート躯体に設置したケミカルアンカー、メカニカルアンカーの引張・せん断耐力試験を行う。	コンクリート構造物に付属物を設置することを想定し、経年したコンクリートに設置したアンカーの耐力を定量的に把握する。	
鋼板と継手	長期間供用後の鋼材の強度ならびに疲労耐力の変化を調べる。	室内	URG4	現場採取した鋼材から供試体を作り、引張試験、疲労試験を行う。また、高力ボルト継手について、残存ボルト軸力の計測、およびすべり耐力試験を行う。	着目部材(ウェブ、フランジ、溶接部等)毎に供用後の劣化度を明らかにすることにより、限界状態設計法における部材係数や材料係数を算定するための基礎データとして活用する。	
アスファルト舗装	アスファルト舗装の付着性、透水性の経年変化を調査する。	室内	中央部 車輪 走行部	現場採取の供試体と新規作成の供試体を用いた付着性状試験(引張/曲げ)透水性性状試験(着色水浸透/透水試験)を行う。	① 舗装と床版の一体性確保、② 舗装からの浸透水による床版劣化の改善、を目的とし、実橋から採取した供試体と室内で作成した供試体の比較を通じて舗装劣化の防止方法について検討する。	
ゴム支承	長期間供用後のゴム支承の材料特性を調査する。	室内	URG8 URG9	ゴム支承から供試体を採取し、材料試験(各種物性試験)を行う。	経年後のゴム支承の物性を確認し耐久性評価の資料とする。	

表-2 旧梅田入路の撤去に伴う調査研究の内容(その2)

調査実験項目	調査実験目的	調査場所	対象構造物	調査方法	調査実験結果の意義
衝撃係数の調査	主桁とRC床版の応力測定	現地	URG4 URG6 URG8	供用荷重による床版たわみと鉄筋応力の振幅頻度を自動測定(一週間連続)	RC床版の応力頻度を確率統計的に推測し、疲労損傷予測の基礎資料とする。また、RC床版の疲労耐力試験(室内試験)に基づく耐力評価の資料とする。
	路面凹凸の計測	現地	URG2 URG7	3mプロフィールメーター、水準測量により路面凹凸の縦横断を計測 ジョイント部を詳細計測	振動特性の調査実験評価の基礎資料とする。
床版の載荷実験	現地載荷実験	現地	URG5	輪荷重載荷による床版および主桁のたわみ、床版コンクリート、鉄筋ひずみを測定する。	両実験を通して、以下の項目に関する知見を得る。 ① 現橋RC床版の疲労度 ② 使用限界状態の判定法 ③ 疲労破壊メカニズムと疲労寿命の把握 ④ 疲労設計への評価
	室内載荷実験	室内	URG5	現橋床版を桁と一体で切出し、連続床版として輪荷重走行試験機により移動繰返し載荷試験を実施する。 ・移動繰返し回数と破壊形態の確認 ・カッター切断による破壊断面の調査	
上部構造に関する実験	合成I桁の静的載荷実験	現地	URG5	試験車を静的に載荷し、各載荷状態に応じた各部材の変形、ひずみ等を計測する。	システムとしての橋梁全体の静的挙動を明らかにすることにより、限界状態設計法における合成桁の部材係数を設定するための基礎資料とする。
	並列I桁の立体特性実験	現地	URG4	横構、対傾構、床版の一部を撤去しながら、試験車を静的に載荷し、各部材の変形、ひずみ等を計測する。	鉛直荷重に対する横構、対傾構、床版の荷重分配効果を確認することにより、限界状態設計法におけるこれらの部材の意味付けを明確にする。 さらに、これらの部材の荷重分配における構造的な寄与度を高めることにより、主桁の応力軽減が可能になるとともに、橋梁全体の剛性を考慮した合理的な橋梁設計へと発展する可能性がある。
	PC桁の耐力実験	室内	URG9	主桁1本に対する静的繰返し曲げ載荷試験を行う(試験体採取に際し、現橋から大ブロックで切り出して解体し、間詰めコンクリートの付着状況、横締め鋼筋の状況を併せて調査する)。	経年後のPC桁のひびわれ～破壊に至るまでの耐荷性状、塑性回転性能を把握するとともに、PC部材の荷重-ひびわれ幅関係、曲げ終局耐力を明らかにし、使用・終局限界状態に対する強度面の評価手法の蓄積を図る。
	PC桁の残存プレストレスの調査	室内	URG9	経年変化に伴う桁の残存プレストレスをひずみ計により測定する(PC鋼線)。	経年後のプレストレスを設計時と比較することによりPC桁の耐久性の評価資料とする。
下部構造に関する実験	RC橋脚の水平載荷試験	現地	URP3 URP4	URP3側を反力としたURP4橋脚の静的繰返し載荷試験を行い、以下の項目を測定する。 ・橋脚、フーチングの水平・回転変位 ・橋脚柱下端・鉄筋段落し部の主鉄筋帯鉄筋、コンクリート応力・ひずみ ・柱下端の鉄筋抜出し量	① 橋脚-基礎系の変形特性に関する橋脚躯体と基礎の分担性状を把握する。 ② 系全体の終局耐荷性状、各構造部位の破壊性状を把握し限界状態設計法における部材係数についての知見を得る。 ③ 耐震設計における実橋脚としてのじん性を把握する。 ④ 柱断面の寸法効果が終局耐力(特にせん断)に与える影響度を解明する。

表-2 旧梅田入路の撤去に伴う調査研究の内容(その3)

調査実験項目	調査実験目的	調査場所	対象構造物	調査方法	調査実験結果の意義	
下部構造に関する実験	場所打ち杭の水平載荷試験 単杭および群杭(2本直列杭)としての水平方向変形特性、水平地盤抵抗を調査する。	現地	URP5 URP6	場所打ち杭の繰返し水平載荷試験により ・杭頭荷重～杭頭水平変位 ・杭体変位(杭本体に傾斜計埋め込み) ・周辺地盤の地中変位(多段式傾斜計)を測定する。 実験終了後に杭を掘起こし、破損状況の調査、シュミットハンマー測定、コンクリート・鉄筋のサンプリングを行う。	① 実杭としては調査事例の少ない破壊までの水平載荷を行うことにより、杭体・地盤の終局水平抵抗性状を明確にする。② 単杭と群杭の水平抵抗性状の比較を通じて群杭効果の確認を行う。③ k値のひずみ依存性を把握し、常時/地震時の設計定数を設定する際の根拠を明らかにする。④ 橋脚-基礎系の水平載荷試験結果を評価する際の基礎データとする。	
高架橋の振動性状に関する実験	全体系の振動実験	正弦波共振試験、自由減衰試験を行い、高架橋の振動特性を把握する。	現地	URG3	起振機による水平加振を橋軸、橋軸直角方向に行い、上部構造と下部構造の振動性状を計測する。	隣接する高架橋の影響、上・下部工の振動モード、減衰特性を調査することにより、高架橋全体の耐震設計における基礎資料とする。
	RC橋脚の振動実験	橋脚自身の地震時水平振動特性を調べる。	現地	URP3 URP4	橋脚のみの状態で橋脚天端を起振機により水平加振し、橋脚の振動性状を計測する。	橋脚のみの水平振動特性を知ることにより、上部・下部一体の地震時水平振動を分析するための基礎資料とする。
	地震時の自動車荷重の影響調査	地震時の橋梁の減衰特性および載荷車両が橋梁の振動に及ぼす影響を明らかにする。	現地	URG3	積載量を変化させた車両を橋梁上に載荷した状態で、起振機による水平加振を橋軸、橋軸直角方向に行い、上部構造と下部構造の振動性状を計測する。また、車両自身の振動特性を人力加振により調査する。	① 大振幅時の振動減衰特性を知ることにより、耐震設計を合理化するための基礎的な知見を得る。 ② 地震-活荷重の効果を見ることにより、都市内高速道路の耐震設計に考慮すべき活荷重の有無を判断できる。
新技術の開発に関する実験	動吸振器の制振効果調査	動吸振器の制振効果を調査する。	現地	URG5	起振機を用いた振動実験によりTMDの最適な状態およびその効果を調査する。	TMDによる橋梁の制振効果を改良するために、付加すべきTMDの個数や振動周波数の調整方法を明らかにして、制振工法として将来的に有望な本工法の実用性を高める。
	固体伝播音の防音実験	モルタル充填箱の設置による防音工法の開発	現地	URG3	モルタル充填箱を設置した桁に衝撃加振を与え、伝播音、部材振動を計測する。	本工法の開発により、簡易な防音工法として、たとえばジョイント部補修に起因する伝播音の発生に対し有効である。
	加振による部材損傷の検出調査	振動を利用した橋梁健全度診断法の開発	現地	URG3	疑似的な損傷を付与した状態で、起振機(鉛直、水平)による正弦波加振、および衝撃加振を加え、各部材の振動応答を計測する。	橋梁の維持管理に利用すべき簡易な診断法の開発。将来的展望に立てば、点検の合理化および簡易化への効果が期待できる。

旧梅田入路料金所の発券枚数のデータ(大型車・小型車の2車種分類;昭和46年度～昭和63年度、一部欠損あり)、トラフィックカウンターによるデータ、およびOD調査結果をもとに通行台数を整理した。その結果、旧梅田入路における交通量は年間約91,000台の割合で増加している。日交通量は11,000台程度で、大型車の混入率は2～3%である。ここでいう大型車混入率は営業上の区分

によるものであるが、本調査研究実施直前に行った荷重実態調査でも6.5%であり、大型車交通量は一般本線と比較すると、かなり少ない。また、軸重が10tfを越える車両は、トラック類で一日あたり数10台～100台、トレーラー類では数台～10台程度であった。

(3) 構造物の補修履歴

構造物の補修履歴を調査した結果、一部の伸縮

表－3 調査研究の全体工程

項目	年月	1989年度												1990年度												1991年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
調査研究の計画		████████████████████																																			
事前調査		██████████																																			
現地実験														████████████████████																							
供試体の製作														████████████████████																							
室内試験														████████████████████																							
データ分析														████████████████████																							
モデル解析														████████████████████																							
結果の整理														████████████████████																							
報告書作成														████████████████████																							
上部構造の撤去		██████████																																			
下部構造の撤去														██████████												▽(1990.3.31)											
旧梅田入路閉鎖		▽(1989.8.15)																																			

継手を除いて、調査研究の対象となる構造部位、材料はすべて建設以来のものであることが確認された。

(4)地質調査

振動実験・静的水平載荷実験の対象であるURP4橋脚、および組杭系の水平載荷実験の対象であるURP6橋脚近傍での地盤状況を把握するために、地質調査を実施した。調査項目は標準貫入試験、孔内水平載荷試験、室内土質試験（比重、一軸・三軸圧縮試験）であるが、振動実験を行うURP4橋脚近傍ではPS検層もあわせて実施した。

表－4 部位別の圧縮強度試験結果

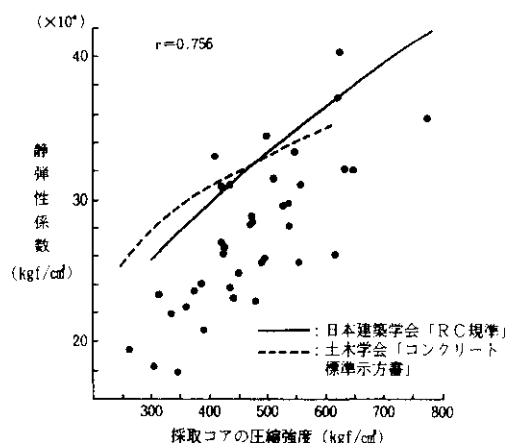
構造物部位	サンプル数	平均値 (kgf/cm ²)	最大値 (kgf/cm ²)	最小値 (kgf/cm ²)
床 版	12	366.0	475	265
梁・柱	36	441.4	546	355
高 欄	32	329.3	424	244
擁 壁	6	358.2	402	255
塹所打ち杭	15	554.7	782	409
P C 桁	6	627.8	759	504
フーチング	3	449.7	475	409

4-2 材料試験

経年変化を受けた各種材料の機械的・化学的性質や劣化度を把握するとともに、維持管理上重要になる非破壊試験の適用性について検討することを目的に、コンクリート、鋼構造物の各部位から採取した材料試験、現地での非破壊試験を行った。

(1)コンクリートの材料特性

圧縮強度については、各部位から採取したコンクリートコアの試験結果によると、経年後においても総じて設計基準強度を上まわる値を維持していることが確認された（表－4）。また、静弾性係数については、コンクリート標準示方書等の圧縮強度-静弾性係数の関係式から得られる値よりもやや小さい傾向を示した（図－3）。



図－3 コアコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係

構造物各部位の中性化深さの実測値は5~17mmで、一般に用いられている岸谷式による推定値に比べておおむね小さな値であった。また外観上みられた健全部と損傷部の差は中性化深さに関してはほとんど認められなかった。

コンクリート中の含有塩分量は、鉄筋周辺部から採取した供試体ではすべてのコア供試体の総平均値よりもやや高かった。また健全部と損傷部とを比較すると、損傷部の方が高い値を示した。

等価アルカリ量は、アルカリ総量規制値と比較すると、平均値としては下まわるが最大値では若干上まわる値であった。また軽微な亀甲状ひびわれがみられた橋脚柱部からの採取コアに対するASR促進膨脹試験によれば、開放膨脹で最大 300×10^{-6} 程度の膨脹を示したが、残存膨脹の進行は認められなかった。

橋脚コンクリートに対する酸性雨の影響について調べた。酸性雨成分の侵入程度の指標であるSO₂量に関しては表層部の方が中心部より多いものの、侵食・溶出による組織の緻密さの低下の指標である細孔径分布の測定ではいえないと判断された。

①非破壊測定の精度検証

コンクリートの強度 シュミットハンマー法(反発硬度法)、超音波伝播速度法、複合法による圧縮強度の測定値を採取コアの圧縮強度値と比較し、これらの有効性を検討した(図4)。

シュミットハンマー法による反発硬度とコア圧縮強度の相関係数は低く誤差が大きかった。超音

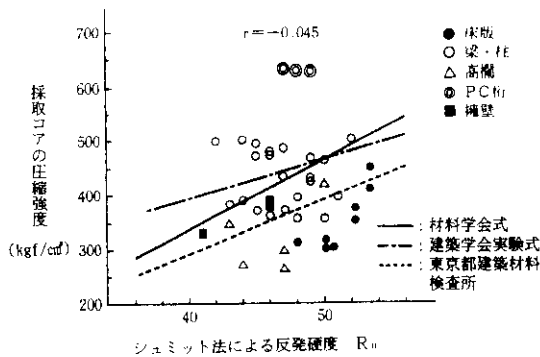


図-4 反発硬度とコア強度の関係

波伝播速度法はコンクリートの圧縮強度を精度よく知ることは困難であるが、相対的な劣化部位の検出等に適用しうるものと判断された。これら二つの手法を組合わせた複合法については、この方法の精度向上のためには各々の手法の相関係数がある程度以上必要であることが確認された。

ひびわれ深さ 超音波伝播速度法により推定したひびわれ深さと、コアを採取して実測したひびわれ深さとを比較した結果、両者の間に高い相関が見られ、この方法によるひびわれ深さ測定が有効であることが示された。また超音波伝播速度法によるひびわれ深さは実測の値の約90%であった(図-5)。

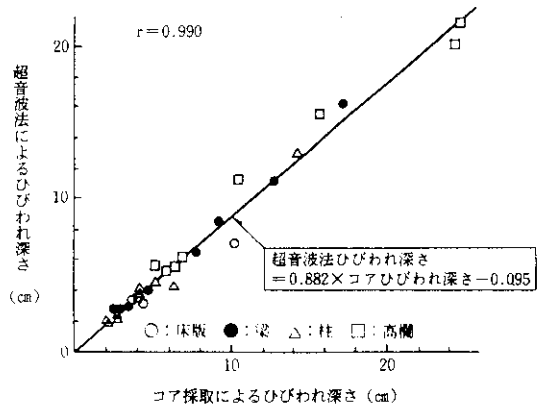


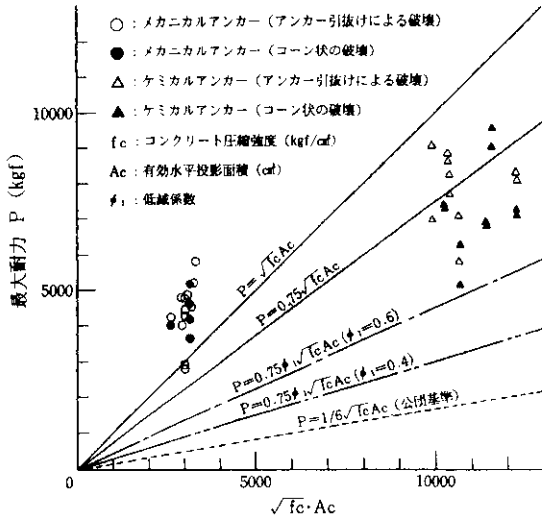
図-5 超音波伝播速度による推定ひびわれ深さと実測値の関係

②アンカーの引抜き耐力

既設コンクリート構造物に設置したアンカーの耐力を定量的に把握することを目的として、現地のコンクリート高欄を対象にメカニカルアンカーとケミカルアンカーの耐力試験を実施した(図-6)。

アンカー最大耐力については、メカニカルアンカーでは実験値が計算値をほぼ上まわっているのに対し、ケミカルアンカーでは計算値を下まわっておりばつきも大きかった。次に最大耐力とコンクリートの圧縮強度との関係を整理したが、いずれのアンカーとも明確な相関性は認められなかった。したがってアンカーの設計においては、使

用部位やアンカーの種別などの条件に応じた安全率を設定することが必要と考えられる。



注) ϕ は「各種合成構造設計指針・同解説」(日本建築学会)、「第4編 各種アンカーボルト設計指針」に示す低減係数で、0.4は長期荷重用、0.6は短期荷重用の値である。

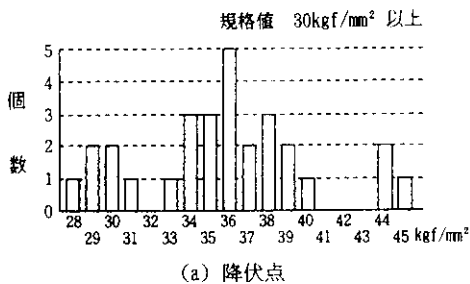
図-6 アンカー耐力の実験値と計算値の関係

(2)鉄筋の材料特性

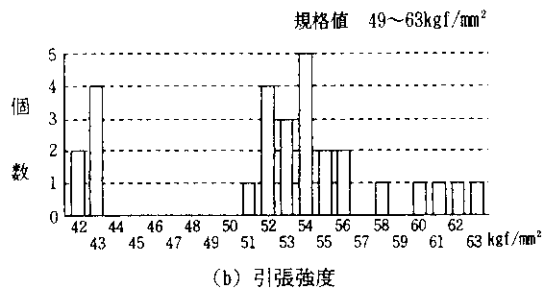
①引張強さ

構造物に使用された鉄筋は異形丸鋼2種SSD49および一般構造用圧延鋼材SS41である。

SSD49鉄筋の引張強さはほとんどの試験体で規格値を満足していたが、場所打ち杭から採取されたD22径の試験体は下限値を下まわっていた。降伏点も同様の傾向であった。SS41鉄筋についてはすべて規格値を満足していた(図-7)。



(a) 降伏点



(b) 引張強度

図-7 鉄筋の材料試験結果

②発錆状況

採取鉄筋の発錆状況は全体として軽微な発錆で、ごく表面の浮き錆がみられる程度であった。

このため、鉄筋の発錆状況を自然電位による方法とX線調査法とで測定し、はつりにより検証したが、これらの手法の一応の有効性を確認するにとどまった。

③鉄筋の位置とかぶり

鉄筋計とレーダーにより同一箇所において鉄筋の位置・かぶりを測定し、これら2種類の非破壊検査手法の精度をはつりにより検証した。

鉄筋位置についてはレーダーによる測定結果の方が鉄筋計による値よりも誤差が少なかった。測定値のばらつきは梁・柱、高欄、床版の順に小さくなっており、推定精度が構造物の鉄筋量に依存することが確認された。鉄筋かぶりについても、高欄を除いてレーダーによる方が鉄筋計に比べて誤差が小さい傾向にあった(表-5)。

表-5 鉄筋かぶりの非破壊探査結果

(はつりによる実測かぶり値に対する比率)

部 位	鉄筋計による測定			レーダーによる測定		
	試料数	平均値	標準偏差	試料数	平均値	標準偏差
床 版	74	1.065	0.286	100	0.989	0.199
梁・柱	34	1.408	0.202	134	1.015	0.090
高 欄	49	1.119	0.280	137	1.252	0.857

(3)鋼材の材料特性および強度

主構造部材の鋼材の経年変化等による材料特性および強度の変化を調べるため、引張試験および疲労試験を行った(表-6、図-8)。

表-6 鋼板の機械的性質

	材質	試験個数 n	平均値 N	標準偏差	変動係数 Cv(%)	規格値 (JIS)
降伏点 δy (kgf/mm ²)	SM50A	20	37.0	0.40	1.1	≥32
	SM50A	10	35.0	0.74	2.1	≥32
	SS41	6	30.1	1.09	3.6	≥23
引張強さ δy (kgf/mm ²)	SM50A	20	54.8	0.44	0.8	50~60
	SM50A	10	52.4	1.44	2.7	50~60
	SS41	6	45.4	1.29	2.8	41~50
伸び $\Delta(\%)$	SM50A	20	23.5	0.85	3.6	≥20
	SM50A	10	30.2	3.12	10.3	≥20
	SS41	6	27.6	1.57	5.7	≥20

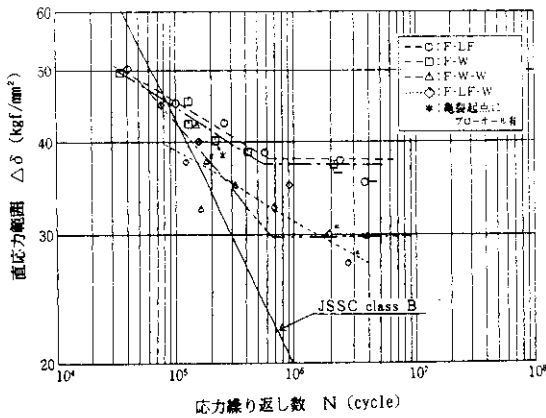


図-8 $\Delta\delta - N$ 曲線 (全試験データ)

①引張試験結果を当時のJIS規格値と比較した結果、鋼材の経年変化等による引張強度の低下はみられず、鋼材の弾性体としての機能も健全であることが確認できた。

②溶接継手部試験片の疲労試験結果をJSSCの疲労設計曲線(1989年11月)と比較した結果、採取した溶接継手部の疲労強度については、経年変化等による疲労強度の低下はないものと判断された。

(4)高力ボルト

現場継手部の高力ボルトの残存軸力の調査およびすべり耐荷力試験を行った。

①残存ボルト軸力の平均値は16.3tf、変動係数は12.5%であった。この値を当時の設計軸力21tfと比較すると、軸力の低下率は22%となる。

②設計許容値に対するすべり荷重(試験値)の安全率は、各試験片とも1.7を上まわっていた。

(5)アスファルト舗装

現場での路面性状調査(縦・横断凹凸量、ひびわれ率)とともに、舗装付き現場採取供試体とこれと比較するためコンクリート床版上に室内混合によるアスファルト混合物を舗装した供試体に対する各種室内試験を行った。

現地調査によれば、舗装体は長期の供用を受けたにもかかわらず良好で、その要因を整理すると、

- ①基層混合物が防水層の役割を果たした、
- ②床版面の凹凸により舗装体との接着力が強化された、
- ③地覆と舗装の接着が良好であり舗装端部からの雨水浸透がなかった、
- ④表層混合物に使用された人工明色骨材により夏期の路面温度の上昇が抑制された、
- ⑤供用後の交通荷重の増加が緩やかで舗装体が適切に圧密安定化したこと、などが挙げられる。

さらに室内試験により、舗装体付き床版の曲げ強度は床版単体と比べて約26%大きく、舗装体がコンクリート床版の断面剛性に寄与していること、今回用いた室内供試体の合材の中ではMC砕石マスタックが疲労抵抗性と防水性に優れており、基層部への防水層としての使用条件に適していることなどが明らかになった。

(6)ゴム支承

ゴム支承の物理試験を行い、その経年変化を調

表-7 ゴム支承の試験結果(試料A)

		(室温23℃ 湿度44%)	
試験項目	単位	規格値	試験値
縦方向	引張強さ	kgf/cm ²	120 以上 144
	引張伸び	%	400 以上 330
	硬 度	度	60±3 66
	静的せん断弾性係数	kgf/cm ²	8~16 16.8
横方向・中央部	引張強さ	kgf/cm ²	120 以上 143
	引張伸び	%	400 以上 340
	硬 度	度	60±3 66
	静的せん断弾性係数	kgf/cm ²	8~16 17.5
横方向・中央部	引張強さ	kgf/cm ²	120 以上 140
	引張伸び	%	400 以上 320
	硬 度	度	60±3 66
	静的せん断弾性係数	kgf/cm ²	8~16 17.6

査した。製品製作時の規格値をもとに初期値を推定し、これと試験値（現在の値）を対比することにより変化率を評価した結果、採取供試体には多少のキズ等が見受けられたものの、せん断弾性係数、伸び、引張強度、バネ定数とも老化後の変化率規格の範囲内であり、とくに問題はないと判断された（表-7）。

4-3 走行車両による衝撃係数の調査

単純桁橋において試験車走行実験を行い、走行荷重による主桁および床版等の動的応答をひずみを計測することにより評価した。今回の調査で得られた結果を次に示す。

①伸縮継手路面段差が主桁および床版の動的応答に及ぼす影響は支間長の短い場合に生じ、段差量の増加とともに大きくなる。なお、その影響は床版主筋方向のひずみに関しては段差より15m付近までの範囲に現れると考えられる。

②15~35km/hの車両走行速度の範囲においては、車両走行速度が主桁の動的応答に及ぼす影響は比較的支間の長い桁（支間長40.4mと28.7mの桁）では速度の増加とともに小さくなる傾向がみられた。

③主桁の振動数は走行車両の振動によりある範囲内で変化する。したがって、一定の振動数を対象に調整されているTMDなどのパッシブな制御方法では、充分な制振効果が期待できないことも考えられる。

④L荷重に対する衝撃係数は、鋼橋とPC橋とで大きな差はみられなかった。

4-4 床版に関する実験

RC床版の疲労損傷メカニズムを明らかにするため、合成I桁のRC床版について、まず現橋損傷状態の調査、現場載荷実験を行い、その後、床版パネルを切出した実床版を用いた走行疲労実験、静的押抜きせん断試験を行った。そして、疲労損傷メカニズム、損傷度の評価方法等について調査・検討した。

今回の調査・実験で得られた結果を以下に示す。

①RC床版のひびわれ損傷は点検標準にあてはめ

ると、最も軽微な損傷としてCランクに位置づけられる程度のものであった。

②現場実験により、RC床版は弾性的な挙動を示し、全断面が有効に働いている。

③走行疲労実験では、走行回数増加に伴い、たわみ、鉄筋ひずみ、ひびわれの開閉量、段差量はいずれも増大する傾向にあり、陥没時近くでは各応答値が急増し、引張側コンクリート無視の値に漸近する。とくに、段差量の変化は顕著であった。

④格子状のひびわれ網の進展はある程度の走行回数の後、乾燥・湿潤の環境条件にかかわらず、停留する（表-8）。

表-8 走行回数によるひびわれ密度の進展 (Bパネル)

N	N/Nf	A	B	$D = \frac{A+B}{2}$	A/B	ひびわれ 間隔	D/Df
0	0.00	2.27	1.75	4.02	1.30	50	0.54
1	0.00	2.49	2.27	4.75	1.10	42	0.64
6000	0.02	2.84	2.93	5.78	0.97	35	0.78
1×10^4	0.03	2.89	3.01	5.90	0.96	34	0.80
2×10^4	0.07	3.02	3.17	6.19	0.95	32	0.84
5×10^4	0.17	3.18	3.37	6.55	0.94	31	0.89
8×10^4	0.27	3.40	3.63	7.03	0.94	28	0.95
10×10^4	0.34	3.42	3.63	7.05	0.94	28	0.95
15.9×10^4	0.54	3.49	3.71	7.20	0.94	28	0.97
22.1×10^4	0.75	3.58	3.81	7.39	0.94	27	1.00
29.4×10^4	1.00	3.58	3.81	7.39	0.94	27	1.00

注記) Nf, Dfは、実験終了時の繰返し回数とひびわれ密度である。

⑤舗装による荷重分散効果を考慮し、またマイナー則が成り立つものと仮定して、園田・堀川の式により計算したRC床版の損傷度は実験結果とよく整合した。また、この計算によりひびわれ網は損傷度の小さい段階で停留することがわかった。このことから、ひびわれ密度を床版の損傷度判定指標とするには問題があると思われる。

⑥湿潤下での走行実験から、雨水の浸透によりRC床版の磨耗が促進され、劣化が早まる様子が観察され、防水工の実施がRC床版の耐力を維持する上で有効な対策であることが再確認された。

4-5 上部構造に関する実験

(1)並列I桁の静的挙動に関する実験

URG 5桁を用いて静的載荷実験を行い、合成1桁の静的挙動を調査した。

また、並列1桁橋の中間対傾構・横構等の二次部材や高欄・地覆部の橋梁全体の剛性に及ぼす影響ならびにこれらの部材に発生する応力度等を明らかにするため、URG 4桁を用い静的載荷実験を行った。実験では、横構、対傾構、高欄・地覆部を順次撤去し、構造系の変化に伴う応答値の変動を調査した。また、各構造系の実験に対応した立体FEM解析、格子理論・版理論にもとづく構造解析を行い、各解析法の妥当性ならびに実橋の挙動を把握する上での改良点について検討した。

これらの実験および解析より得られた結果をまとめると次のようである(図-9~11)。

- ①高欄・地覆部がかなりの荷重を分担しており、下フランジの応力度は20~40%小さい。
- ②現橋における荷重分配は、格子解析、版理論解析などの慣用解析による分配を上まわった。これは解析において考慮されていない準閉断面としてのねじり剛性、床版等の荷重分配効果、および高欄部の曲げ剛度等の影響であることがわかった。
- ③高欄部も含み上部工全体をモデル化した立体FEM解析値と実験値とはよく一致している。しかし、高欄部の曲げ剛度を外桁に加算し、横構の閉

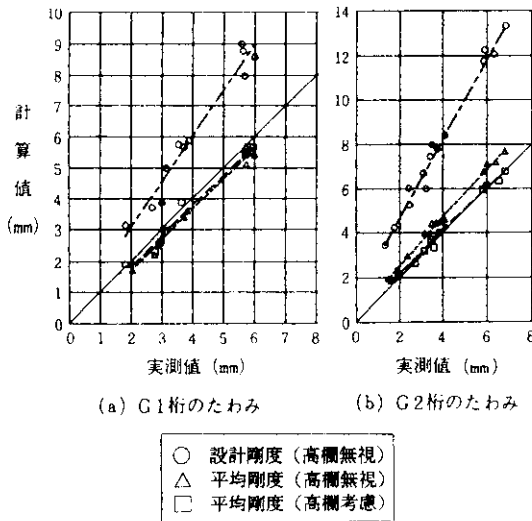
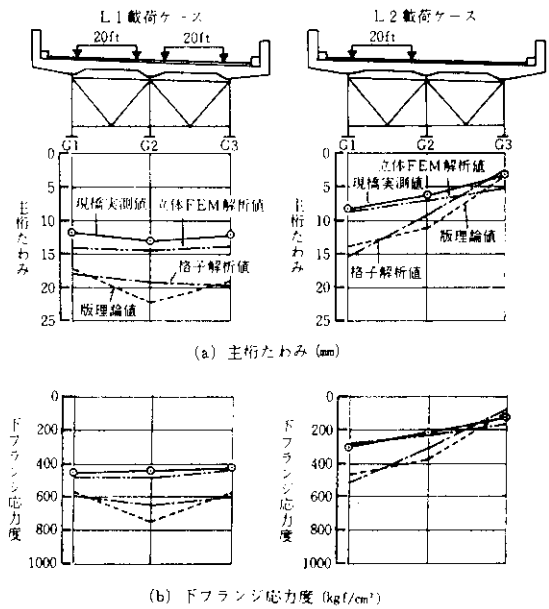


図-9 主桁たわみの実測値と計算値との比較



格子解析値：主桁ねじり剛性考慮、対傾構剛度に床版との合成を考慮

図-10 支間中央断面の主桁たわみおよび下フランジ応力度

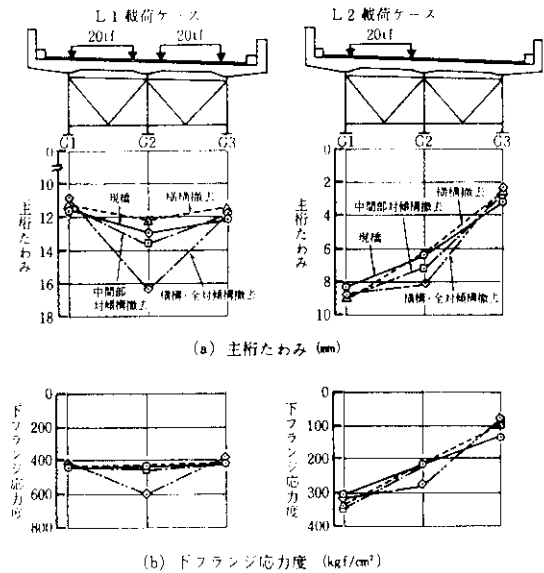


図-11 各構造系における主桁のたわみおよび下フランジの応力度

断面効果によるねじり剛度を各桁で考慮すれば、格子解析によっても実橋のたわみ、応力度を比較的良好に再現できることが確認できた。

④横構には鉛直荷重下においても軸力が発生し、この軸力には、ねじり荷重と主桁の曲げ変形により生ずるものがある。これらの軸力は単純ねじり理論による解析、ならびに横構取り付け面に着目した平面骨組モデルを用いた解析により比較的容易に推定できることが確認できた。

⑤格子解析により対傾構に作用する部材軸力を算出する際には、高欄部の曲げ剛度の影響を考慮しておく必要があると考えられる。

(2) P C 桁の耐荷力実験

P C プレテン桁の室内載荷試験を実施し、耐荷性能の経年変化を調査した(表-9)。

試験の結果、曲げひびわれ発生時および破壊時の載荷荷重は設計計算値をそれぞれ上まわっており、使用状態、終局状態において十分な使用性と耐荷性能をもつことが確認された。桁表面の状態や破壊後の桁断面をみるかぎりではコンクリートが劣化している様子はなく、載荷試験の結果とあわせて桁は健全なものであると判断された。

表-9 実験値と計算値の比較

	設計荷重 (tf)	ひびわれ荷重 (tf)		終局荷重 (tf)	終局時 上縁ひずみ
		JIS による	曲げ引張 強度による		
実験値	—	11.6 (1.65)	11.6 (1.27)	18.6 (1.09)	1900×10^{-6}
計算値	5.770	7.02	9.09	17.1	3500×10^{-6} (道示より)

()内は実験値に対する計算値の比

4-6 下部構造に関する実験

(1) R C 橋脚の水平載荷実験

弾性範囲を越えた領域での橋脚の耐荷・変形挙動を明確に把握し、ダクティリティに富んだ構造物を実現していくための資料を得ることを目的に、実物の R C 橋脚の一方静的繰返し水平載荷実験を実施した。実験の対象としたのは $\phi 2.0\text{m}$ の円形断面をもつ単柱式橋脚であり、弾塑性領域での挙動、現行の設計基準類に示された曲げ・せ

ん断に関する各種設計式の適用性、弾塑性変形解析手法の精度などについて検討を加えた。

検討成果を以下に示す(図-12~14)。

①橋脚柱の弾性変形特性とひびわれ発生荷重

ひびわれ発生前の変位の測定値から逆算した橋脚コンクリートの弾性係数は圧縮強度の材料試験値に見合うほどには高くなかった。長期材令を経たコンクリート構造物の弾性挙動を推定する場合、圧縮強度と弾性係数の関係に経年条件を考慮する必要がある。

②杭基礎の変形特性

杭基礎フーチングの変位は小さく、最大荷重時の変位は設計上の基準変位量 10mm に至らなかった。

③終局曲げ耐力と塑性域での曲げ変形特性

材料試験値を用いて算定した終局曲げ耐力は実験結果とよく整合した。

一方向載荷時における橋脚の塑性域での曲げ変形を推定する際、鉄筋降伏以降の丸みを帯びた M- ϕ 曲線を忠実に追跡した「精算法」によると、実橋脚の P- δ 挙動をかなり正確に再現でき、一方、通常行われているトリリニア近似による M-

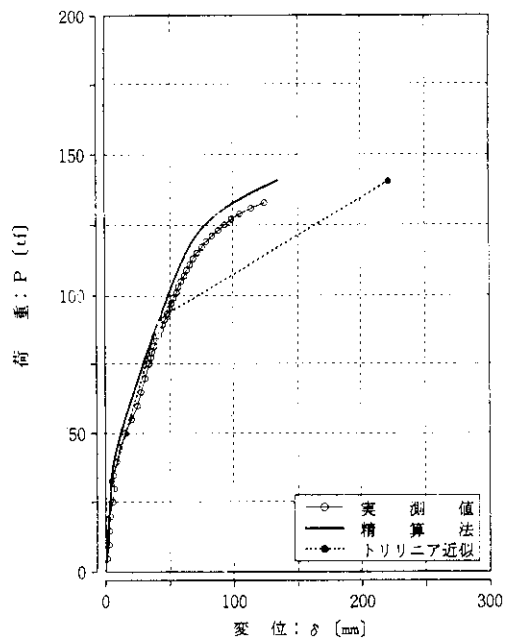


図-12 荷重-変位解析

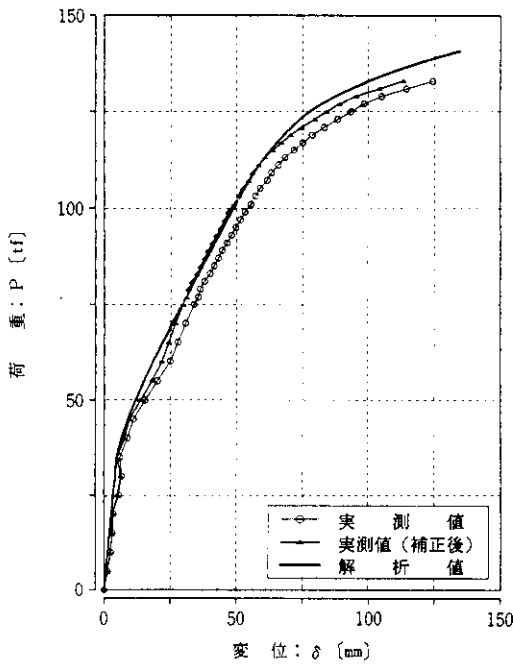


図-13 鉄筋抜出しを考慮したURP
4橋脚の荷重-変位曲線

φ評価では終局変位を過大評価することが示された。また、鉄筋変化のある柱の弾塑性曲げ変形の推定においては、少なくとも鉄筋定着長程度を考慮して断面変化位置を設定する必要がある。

④柱下端からの軸方向鉄筋の抜出し

室内小型供試体実験で確認されているフーチングからの鉄筋抜出しが、実橋脚規模においても存在することが示された。この鉄筋抜出しによる変位を考慮すれば橋脚全体の挙動をより精度よく推定できるが、その影響度は鉄筋段落し部がクリティカルになる本橋脚では最大荷重時で全変位の1割程度であり、小型供試体ほど大きくない。

⑤終局せん断耐力

コンクリート標準示方書の終局せん断耐力式によると、実物規模の円形断面柱のコンクリート分担分を精度よく評価できることがわかった。ただし全体として終局せん断耐力は、コンクリート標準示方書によるせん断耐力を下まわる傾向がみられ、従来指摘されてきた主鉄筋段落しによるせん断耐

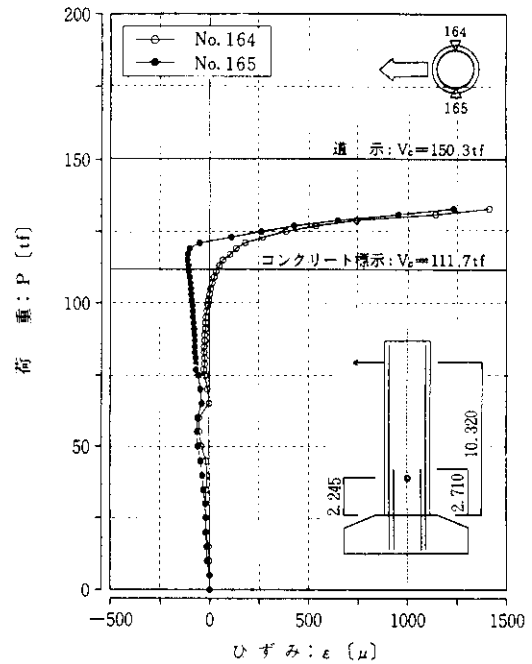


図-14 帯鉄筋の荷重-ひずみ曲線
(鉄筋段落し部近傍)

力低下の影響が実橋脚においてもみられることが示された。

(2)場所打ち杭の水平載荷実験

φ 1.0mの場所打ち杭を対象に水平方向の耐荷・変形特性を調査し、杭の弾性～終局時の挙動を明らかにすることを目的として、単杭・直列2本杭の繰返し水平載荷実験を実施した。既設杭を対象とした実験であることから、荷重-載荷点変位、傾斜計による杭の水平変位分布、実験後の変状調査からの情報により解析的検討を進めた。

以下にその結果を要約する。

①杭の水平方向地盤反力係数

地質調査にもとづき評価したk値は、Changの方法や多層系モデルにより評価した基準変位量10mmでの逆算k値に比べてやや小さい値であり、道路橋示方書のk値評価式がここでは安全側の設定になっている。

②水平方向地盤反力係数のひずみ依存性

慣用の-1/2乗則により求めたk値と、逆算k

値により評価した変位- k 値曲線を比較した結果、 $1/2$ 乗則は変位15mm以下の領域では k 値を過小評価、15mm以上の領域では逆に過大評価する傾向にある。

③杭-地盤系の耐荷・変形特性

杭体と地盤の非線形性をともに考慮した解析により、水平荷重の増加に伴う不動点深さの変化を比較的良好に説明できた。とくに直列2本杭の場合には、前・後列杭に発生する軸方向力に応じた杭体の $M-\phi$ 特性を考慮することの必要性が示唆された。また、本実験の杭-地盤系の終局状態が、単杭では鉄筋変化部付近の曲げモーメントに、組杭では杭頭部の曲げモーメントに支配されていることが確認できた。なお、ここでは地盤の非線形性を $1/2$ 乗則で評価したが、最大荷重近傍での変位の急激な増大を再現するには地盤反力度に極限抵抗の概念を導入する必要があることが指摘された。

④群杭効率

基準変位量における群杭効率は直列2本杭を対象とした既往事例とほぼ同等の値であった。この群杭効率の値は変位の進行にしたがって大きくなる傾向がみられたが、今回の実験では大変形時に杭体が強く非線形化していたため、この影響を考慮した再評価が必要である。

4-7 高架橋の振動性状に関する実験

高架橋の地震時挙動に及ぼす車両の影響を把握するため、実橋振動実験および実験に対応した振動解析を行った。

これらをまとめると次のようである。

(1)橋梁全体系の振動特性

- ①高架橋では、各橋梁が単独に振動するのではなく、高架橋全体が連続構造物として振動する。
- ②可動支承の橋軸方向支持条件は、剛支持とローラー支持の中間的な弾性支持状態となっている。
- ③可動支承部に橋軸方向水平ばねを設置し、入路高架橋全体をモデル化することにより、実験結果にほぼ適合するばね定数および全体系モデルが設定できた。

(2)RC橋脚の振動特性

①2本のRC橋脚の振動実験結果に適合するコンクリートおよび地盤ばねの動的諸定数が同定できた。同定された定数値は2本の橋脚で似かよった比較的安定な値であった。

②同定された動的な定数値を別途実施した橋脚の静的試験結果（および静的試験結果から道路橋示方書の方法で算定された定数値）と比較すると、動的な定数値は高目の値を示している。

- ・コンクリートのヤング率 約 1.2倍
- ・地盤のばね定数 約2.5 ~ 3.5倍

この違いは振動実験が微小振幅で、かつ動的荷重であったためと考えられ、地盤のばね定数については、さらに設計上は無視している基礎底面の地盤の弾性拘束の影響などがあったものと考えられる。

(3)車両の振動特性

①実験に使用した標準的な大型トラックの振動特性は、橋梁との連成が問題となるローリング方向（横方向）には2つのモードの存在が確認できた。

②1次振動は主に運転席部の振動と考えられ、振動数は積載率によらずほぼ一定となっている。車両全体のモードは積載率により後輪積載部で変化する。

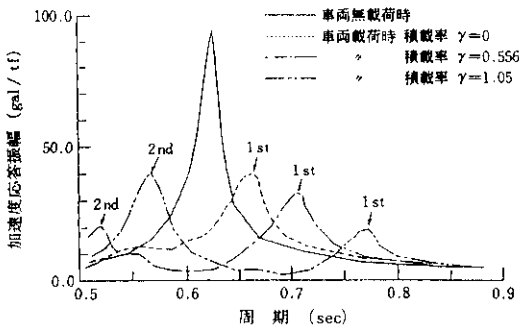
③2次振動は、積載率により振動数、モードとも変化している。

(4)橋梁と車両の連成効果（図-15）

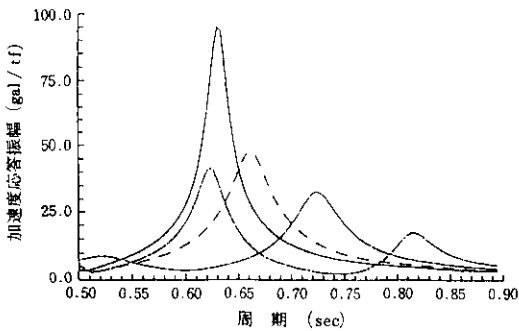
①車両載荷時の橋軸直角方向振動による最大応答加速度は、無載荷時の値の $1/2$ 以下程度に低下し、また無載荷時の共振曲線でみられた1次振動ピークが載荷時では2つの小さな山に分かれる現象が現れ、車両が明らかに動吸振器として制振効果を及ぼしている状況が認められた。

②橋軸方向振動への車両の影響は、橋軸直角方向に比較し小さい。車両を載荷しても共振曲線の形状はほぼ同じであり、振幅も1~2割低下する程度である。

③車両モデルを高架橋全体モデルに追加し、橋梁と車両との連成振動についての正弦波応答解析（複素応答解析）を行った。その結果、傾向的には、解析により実橋の動的な連成効果の実態が把握でき、さらに実験に対応した解析モデルおよび



(a) 実験結果



(b) 解析結果

図-15 車両の载荷による共振曲線の変化 (実験および解析結果)

解析方法の提案ができた。

4-8 新技術の開発に関する実験

新技術開発の方向性を検討するため、主として維持管理上必要性の高い以下の実験を実施した。

(1) 動吸振器による橋梁振動低減工法 (図-16)

URG 5 桁を用い、Mass-Damper 系からなる動吸振器の制振効果について起振機による定常加振実験を行った。

実験結果をまとめると次のようであった。

- ① 動吸振器の最適周波数比 (動吸振器の固有振動数/主桁の固有振動数) は 97.5~100.0% の範囲であった。
- ② 動吸振器の制振影響範囲は狭く、対象周波数の $\pm 0.05\text{Hz}$ $\pm 0.10\text{Hz}$ 程度であり、調整対象周波数の選定には十分留意する必要がある。
- ③ 付加質量の増加により減衰定数が減少し、対象

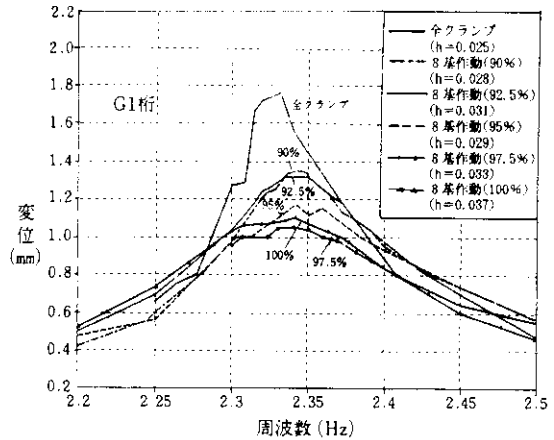


図-16 最適振動数比 (曲げ振動)

周波数の応答量は若干増大するが、最適条件で動吸振器を作動させれば、基本構造系に対し制振率 20% (2dB) 以上の制振効果を有している。

(2) 固体伝播音の低減工法

車両走行時に橋桁から発生する騒音 (固体伝播音) を低減する対策として、URG 3 桁に「モルタル充填箱」を設置し、その効果を衝撃加振試験により調査した。

調査の結果、橋桁から発生する騒音は、加振位置にかかわらず、全周波数領域にわたって最大 10 dB 程度の減音効果がみられた。これは聴感補正後の騒音レベルで 3~8 dB (A) の減音効果となり、モルタル充填箱の設置による方法が、車両走行時の橋桁からの発生騒音 (固体伝播音) の低減に有効であることが確認できた (図-17)。

(3) 振動による橋梁の健全度調査

振動を利用して橋梁の健全度を評価するには、構造物の損傷と応答との相関性を明らかにする必要がある。そこで、URG 3 桁を利用して、人為的に損傷を付与し、加振実験により橋梁の振動性状の変状検出を試みた。今回実施した健全度評価法は次の 2 つの方法である。

- ① 橋体に正弦波加振ならびに衝撃加振を加え、橋体の固有振動特性の変化を計測する (振動特性計測法)
- ② 同加振実験により、橋体のたわみ曲線の曲率を、桁に取付けた棒部材の軸方向ひずみとして間接的

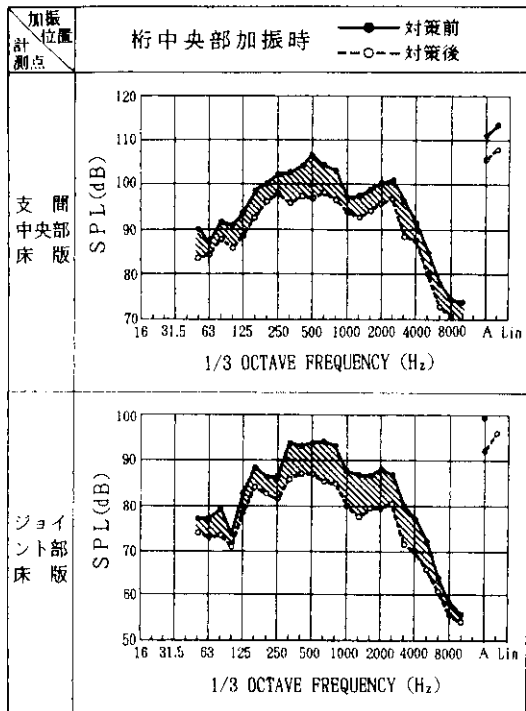


図-17 1/3オクターブ騒音分析比較結果

に測定し、その変化を計測する（曲率計測法）

今回の実験では橋体にかかなり大きい損傷を付与したが、振動特性に顕著な変化はみられなかった。一方、桁に取付けた棒部材の軸方向ひずみから求めた曲率モードでは、健全時と損傷時とで明確な差が計測でき、しかもその差は損傷付与箇所付近のみに現れるものであった。

実橋実験では限られたケースであり、曲率計測法については、今後、実用化に向けて外力の付与方法、曲率の測定方法、評価法等についての検討が必要であると考えます。

あとがき

11号池田線の旧梅田入路が西梅田地区再開発計画の一環として取り壊されることになり、この機会を利用して、24年間、自然環境や交通荷重の洗礼を受けた構造物の経年劣化や耐荷力を調査することができた。

この調査・研究は、既存の構造物の点検・交通荷重の調査などの事前調査、材料調査にはじまり、上部構造および下部構造に関する実験、高架橋の振動性状に関する実験、さらに、新技術の開発に関する調査など、多岐にわたっている。しかも、破壊あるいはそれに近い領域までの載荷を実施し、構造物の弾性から塑性領域までの挙動を調査している。

その結果、旧梅田入路構造物の健全性を確認するとともに、近い将来、各基準に全面的に導入されるであろう限界状態設計法に向けての有益なデータが収集できた。

この成果は、学識経験者および建設省土木研究所をはじめとする実務経験者を含めた研究会を組織して「旧梅田入路構造物に関する調査研究報告書」としてとりまとめた。さらに、幾つかのテーマについては、実験・解析等を追加して研究を継続している。

紙数の関係で十分な説明が加えられなかったが、詳細は本報告書を参照されたい。また、本研究が多くの橋梁技術者に広く利用され、道路構造物の合理的設計法の確立および、耐久性のある構造物の建設に役立つことを願ってやみません。

最後になりましたが、以上のような盛り沢山の内容の調査、研究を短期間に、撤去作業と並行して、しかも西梅田という大阪でも一番の繁華街の一角で無事に実施できたことは、外部の委員ならびに公団各担当者の御尽力の賜物と感謝します。また、この調査・研究に携われた故奥田嘉久氏（川崎重工業株）、故久保雅邦氏（株総合技術コンサルタント）両氏の御冥福をお祈り申し上げます。