

鋼桁の金属衝撃音の解明と対策

(前)大阪管理部 保全第一課 千代憲司

はじめに

阪神高速道路公団供用路線の鋼単純Ⅰ型合成桁(以下「鋼桁」という)において、車両走行時に原因不明の金属性衝撃音(以下「S音」という)が発生することがあり、この原因解明と対策方法の確立が緊急の課題となっている。

車両走行時に発生するS音は、橋梁ジョイント部を車両が走行する際に発生するジョイント音と異なり、800～1,000 Hzの周波数にピークをもつ高周波音で、音圧レベルはジョイント音より若干高い程度である。

S音の発生原因は偏荷衝撃による桁の浮上り、あるいは桁の不整伸縮など種々の原因が論議されていたが、いずれも若干の不明確な点があり、系統立った調査の必要が生じていた。そこで、当公団ではS音発生メカニズムを調査することになり、第1回調査として、昭和52年9月に大阪堺線でS音に関して2～3の調査を行い、その結果、

ⅰ) S音発生時に必ず支承部に水平振動が起る

ⅱ) S音は800～1,000 Hzの純音が主成分で、支承部の振動とS音の周波数はほぼ一致するなどの一応の成果を得た。

しかし、S音の発生や支承部の振動が局所的な現象にとどまるのか、あるいは共振伝達されるのか1回の調査では試料が少なく、発生個所を確定するには早急すぎると思われ、再度大阪守口線で前回の方法を踏襲すると同時に支承部の振動発生順位、S音発生順位などを調査し、S音および振動の発生部材を確認するため全主桁の挙動を測定した。

以上、S音発生源解明を中心とした調査結果を2で報告し、3.では、S音発生の原因は支承部にあるという調査結果から、支承部のベアリング・プレート取り替え工事を実施し、その施工前後における主桁の挙動、すなわち温度変化などによる支承部の挙動とS音との関連を重点的に調査した結果を述べた。

1. 調査結果の概要

概ね3年間にわたり、大阪堺線、大阪守口線で重点的に行った13回の測定結果の概要を述べると次のとおりである。

- ① S音の騒音レベルはジョイント音のレベルと大差なく、90 dB(A)前後であるが、S音の周波数主成分は800～1000 Hzである。
- ② S音発生時の車両位置は定まったパターンは認められないが、車両が可動支承側橋梁ジョイント部を進入または退出する時に発生するケースが多い。なお、特異な例として車両無載荷時に発生するケースもある。
- ③ S音発生時には必ずG₁またはG₅桁(耳桁)の可動支承に800～1000 Hz(橋軸直角方向水平振動)のS音の卓越周波数とはほぼ同一の正弦波振動波形が記録される。(図-1参照)
- ④ 主桁の橋軸方向の伸縮一時間曲線はベアリング・プレート(以下「B・P」という)取り替え工事前では、ステップ状に変化するが、工事後においては伸縮一時間曲線は改良され、S音の発生は皆無である。
- ⑤ S音は耳桁の固体伝播で伝わり、その速度は大気中音速の約10倍であり、主桁ウェブ面

が音響放射面となって桁全体から発生しているように錯覚する。

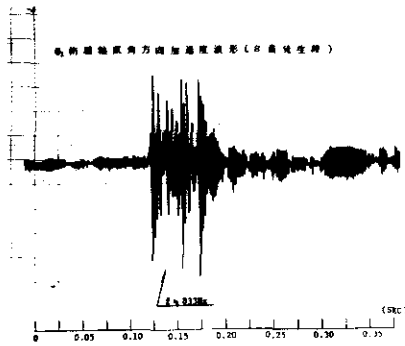


図-1 S音の拡大波形の一例

1-2 発生原因の推定

S音の発生原因として考えられることは、B.Pの摩擦力増大などのため鋼桁の温度変化などによる支承移動が滑らかに行われず、車両が当該橋梁に進入または退出する際、拘束力の比較的小さいG₁、またはG₅(耳桁)支承部の摩擦が衝撃的に滑動し、応力解放され、その時衝撃音として感知されると考えられる。

1-3 対策

S音の対策としては、発生原因を排除する方法と発生箇所およびその周辺部に防音処理をする方法がある。前者の方法として支承部の改良またはB.Pの取り替えが考えられ、後者については発音部材に防音、制振処理することが考えられるが、今回実験的に実施した神戸製鋼他2社の製品であるダンピング材を主桁長の約1/3対策すればS音は約10dB(A)減音できる事が確認できた。

2. S音発生源解明

2-1 調査項目および経緯

(1) 調査項目

調査項目はS音発生源がどこにあるのか、また、その伝播経路がどのような形であるのか、初期の調査段階では全くわからず暗中模索の状態から始めた。このS音発生源の解明および発生パターン

を確認するため、主桁ウェブ、床版、支承などの各個所に振動加速度測定を中心に、計11回にわたり、振動加速度測定112測点、変位測定2測点、騒音測定44測点および車両位置確認のため、高架道路上に光電管信号16点をもって実施した。

この測定によって求められるS音発生時の振動、騒音などの現象から

- ① S音発生傾向
- ② S音に関する波形観測とS音の周波数特性
- ③ S音の時間変化と周波数解析
- ④ 振動、騒音、その他の波形解析

を調査し、車両位置とS音発生の関係、振動波形と騒音波形の相似性、各部材間の伝達時間差から発生位置を求め発生減を推定するとともに、効果的なS音対策方法を確立することを目的とした。

(2) 調査経緯

調査場所は大阪堺線、大阪守口線の3カ所で、鋼桁(5主桁)のスパン25m、30m、35mを調査対象橋梁とし、その測定経緯を表-1に示す。

2-2 測定

(1) 計測方法および計測器校正

計測要領の一例を図-2に、計測器の仕様を表-2に示す。測定は最大42測点同時記録(データレコーダー14ch×3台)し、振動加速度についてはピックアップよりチャージアンプまでローノイズケーブルを用い、チャージアンプよりデータレコーダー

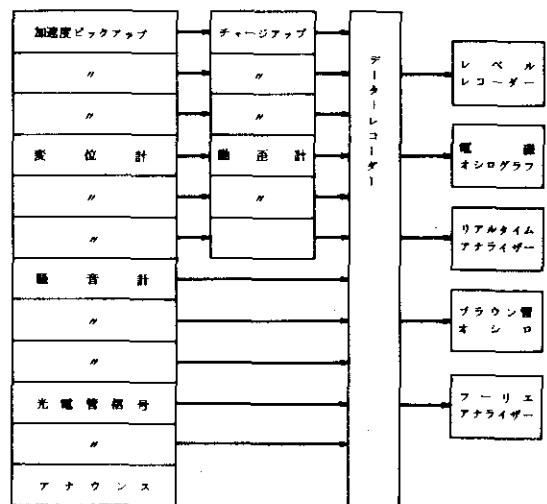


図-2 計測要領

表-1 調査経緯

測定桁	対策状況	日 時	測 定 内 容	S音発生状況	報 告	備 考
1 大阪堺線 P-883 ~384	対策前	S52 9/13~9/14	P 888 下り耳桁部を中心にウェーブ部、支承部のX方向、乙方向の振動を求めた。	1回	第 1 回 S 53 . 2 報 告 済	三菱重工の試験車を利用して効果測定を実施した。
	"	S52 9/30~10/1	ウェーブ面のX方向振動と耳桁の音圧変化ならびに支承部のX、Z方向振動をダイヤルゲージで求めた。	なし		
	"	S52 10/18~10/19	P 888 下り耳桁、中桁、端対傾構のウェーブ、X方向振動、支承部、X方向振動ならびに床版のX、Y、Z 3方向の測定を実施した。	6回		
	第1次止音対策実施後 (片面のみダンブレード処理)	S52 11/18~11/19	効果の中間的確認であつたためP 888 下り耳桁、中桁、端対傾構近接音と、支承部X方向振動を測定した。	1回		
	第2次止音対策実施後 (両面ダンブレード処理)	S53 1/27~1/28	上記ウェーブの近接音の外X方向振動と、支承部5個のX方向振動を同時測定した。	なし		
2 大阪守口線 P-211 ~212	対策前	S53 2/19~2/20	振動の発生起点を求めるため、測定桁10ヶ所の支承部X方向振動近接音の同時測定ならびに、光電管6本による車輪監視(36点)	試験車 3回 一般車 1回	第 2 回 S 53 . 8	
	止音対策実施後 (片面のみダンブレード処理)	S53 3/16~3/17	同 上	試験車 3回 一般車 6回		
	対策前	S53 10/12~10/13	P 225 上り側耳桁を中心に、耳桁の振動伝播減衰状況を中心に測定解析した。試験車の運行重量速度等との関係を求めた。	試験車 3回 一般車 11回		
3 大阪守口線 P-225 ~226	対策前	S53 11/14~11/15	以後8回の測定は同一測定点、同一要領で測定した。	なし	S 54 . 3 1,2回も含めて総合的に評価する。	
	止音対策実施後 (両面ダンブレード処理)	S53 12/6~12/7		測定反対側で2回		
	同 上	S54 1/23~1/24		なし		
	同 上					
(A) 支承部 測定方向	Y: 橋軸方向振動 X: 水平方向振動	(B) ウェーブ測定方向 Z: 上下方向振動 Y: 橋軸方向振動 X: ウェーブ水平方向振動	(C) 床版 Z: 上下方向振動 Y: 橋軸方向振動 X: 床版水平方向			

表-2 測定・解析計器の仕様

分類	機 械 名	型 式	製 作 所	仕 様
検 出 子	加速度ピックアップ	B&K 4368	B & K	測定範囲 DC~5 KHz (圧電型) 出力 48 mV/g
	騒音計	NA-09	リオン	周波数 31.5~8000 Hz 測定範囲 30~130 dB 器差±1 dB
較 正 器	チャージアンプ	VC1012-16	松賀器販	振動加速度 0.1g~10g 出力 0~10V/g レンジ切替により
	ピックアップ校正器	B&K 4291	B & K	79.6 Hz で 1 g の加振力を与える。
記 録	騒音計校正器	B&K 4220	B & K	250 Hz 124 dB の基準音発生器
	データレコーダー	DFR31415	SONY	録音方式 FM チャンネル数 14 周波数特性 38 回転で DC~5 KHz
解 析	リアルタイムアナライザー	B&K 2131	B & K	測定レンジ 10~150 dB, アベレージングタイム 1/32~165 sec 周波数レンジ 1.6 Hz~45 KHz, メモリー 2 チャンネル
	フーリエアナライザー	YHP5451B	Y H P	タイムドメイン 4096 分割 周波数分割 2048 分割
器	電磁オシログラフ	VISI GRAPH 5L	SANEI	ペーパー速度 5cm/sec~200cm/sec 電 圧 4.5V~225V
	D. Cアンプ, フィルター	RA 8010-14	電子応用	RMS回路, A Weight 回路内蔵 14 チャンネル
器	ブラウン管オシロ	MS 5021	岩崎通信	2 現象メモリスコープ
	高速レベルレコーダー	B&K 2307	B & K	ペン速度 2mm/sec~4000mm/sec ペーパー速度 0.0003mm/sec~10cm/sec
	振 動 計	B&K 2511	B & K	ACC, 0.3 Hz~3 KHz 減衰器 130 dB

レコーダーまではシールド線を用い、FM電波などの影響を極力抑え録音記録し記録状況確認のため、オシロスコープでモニターした。騒音レベルについても騒音計出力をシールド線でデータレコーダーに直接記録し、レベルレコーダー、スピーカーでモニターした。また、車両位置確認のための光電管信号は、いずれのデータレコーダーにも録音記録し、再生データの同時性を確保するために活用した。使用計測器および解析器の精度は使用前後に標準器で比較校正し精度の確保を図ると同時に、再生開始時に振動加速度については、ピックアップに79.6Hzで1gの加速力を与え、その時のチャージ・アンプ出力をデータレコーダーに入力し校正信号として記録し測定値と対比

した。騒音レベルについても騒音計 (NA-09) にCAL信号を校正信号として入力した。これらの測定システム校正要領は図-3に示すとおりである。

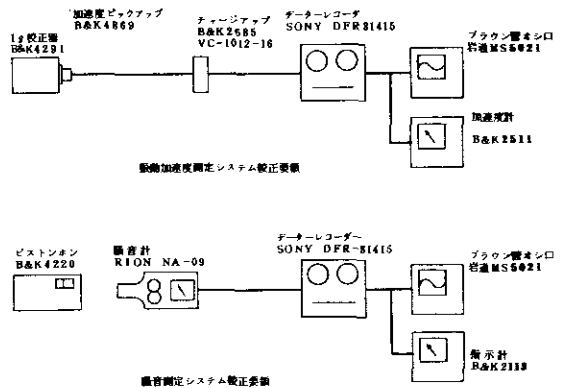


図-3 測定システム校正要領

12) 測定方法

振動加速度ピックアップ、騒音計および変位計の取り付け位置は、S音発生源からS音とともに振動が伝播するという考えから、また振動周波数とS音周波数は近似するとの考えから、次のような現象が原因であると仮定した。

- ① 主桁ウェブおよび端対傾構の座屈現象による高次振動
- ② 床版と主桁との剝離による打撃音
- ③ 支承部の異常すべりによる摩擦音
- ④ 重車両偏荷重による支承部の浮上り現象

2-3 測定結果

計11回のS音調査で記録できたS音は30個あり、その記録は次のように再生、解析した。

- ① S音の発生傾向ならびに振動加速度、騒音レ

ベルおよび時間差をみるために、データ・レコーダーの記録を図-4のブロック線図に示す

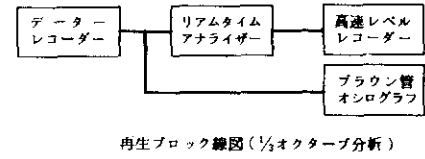
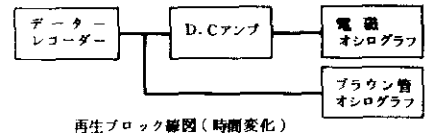


図-4 再生ブロック線図

ように周波数分析フィルター(B&K 2113)、D.Cアンプを通して電磁オシロに、あるいはデータ・レコーダーより直接ブラウン管オシロに再生し、振動発生時間差およびレベル差を求めた。また騒音、振動の1/2オクターブ分析をリ

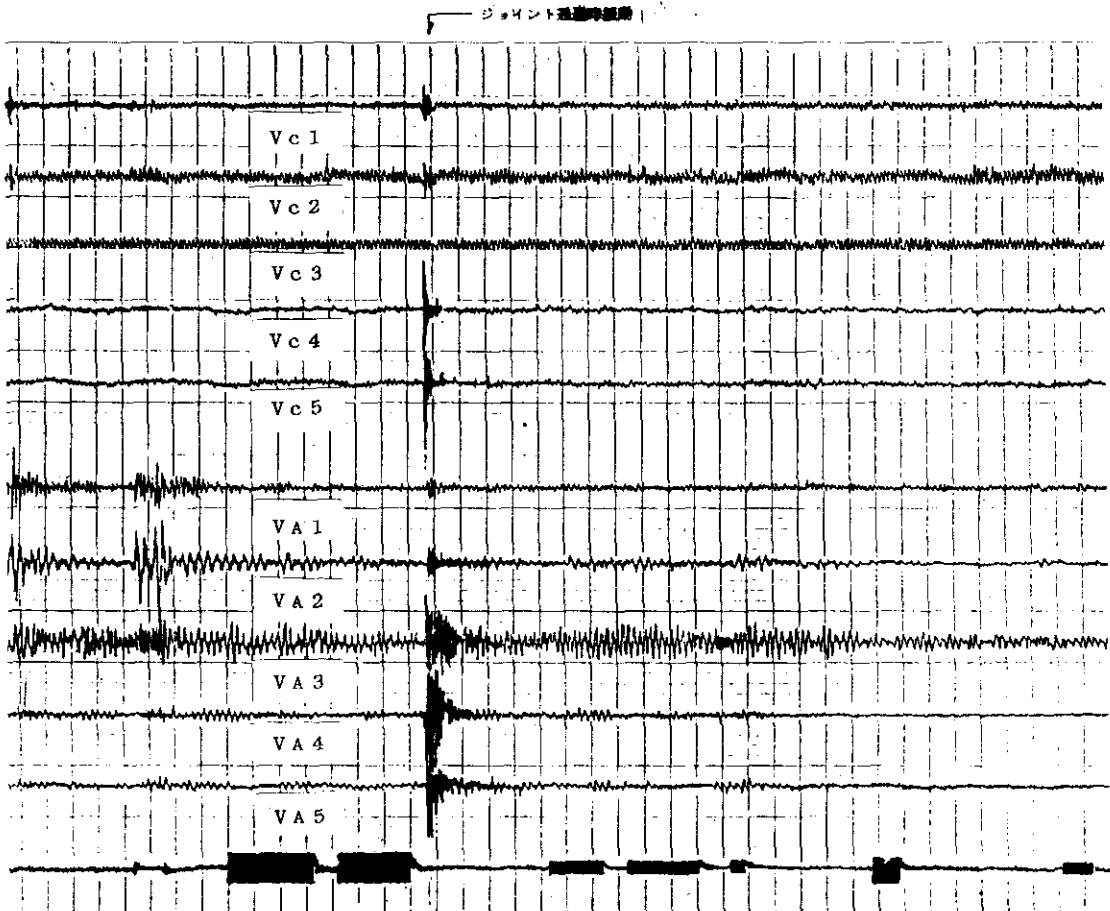


図-5 主桁ウェブの振動加速度(S音なし)

アル・タイム・アナライザー（B&K 2131）により行い高速レベルレコーダーに記録した。

② S音発生時の各測定個所の振動加速度、騒音などの相関性をみるためのフーリエ・アナライザー（YHP 5451 B）を用いた。また加速度レベ

ルは次式によりdB表示とした。

$$\text{振動加速度レベル} = 20 \log \frac{a}{a_0} \text{ (dB)}$$

a : 測定振動加速度実効値

a_0 : 基準振動加速度実効値

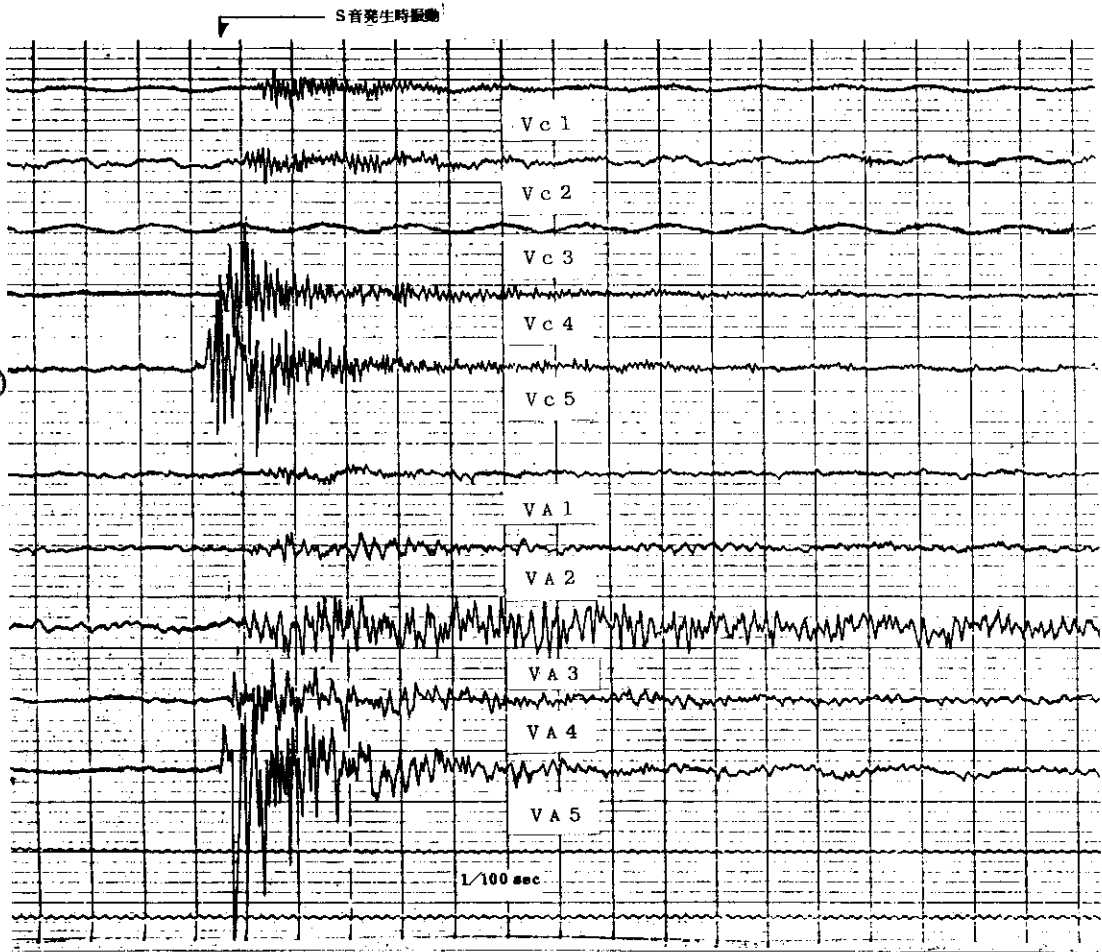


図-6 耳桁支承部振動加速度(S音発生時)

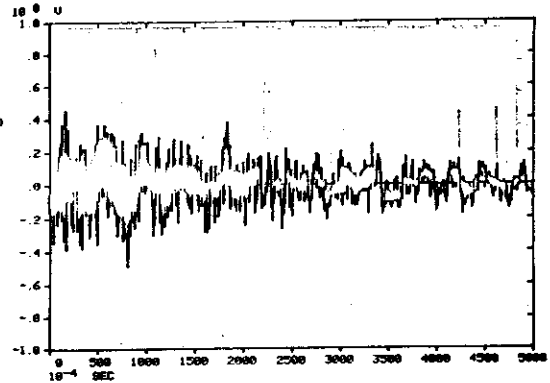
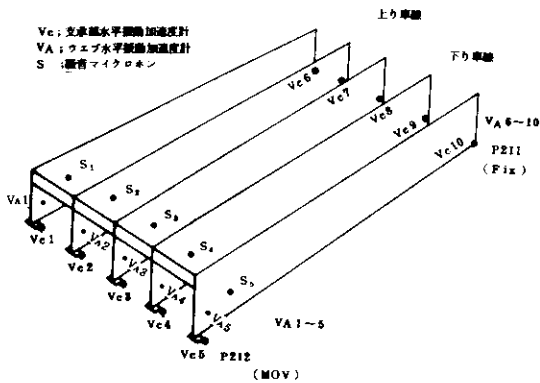


図-7 S音の持続時間

2-4 考察

(1) S音発生傾向

- ① S音発生は主として、総重量20t以上の車両が当該支間に進入または退出した直後に発生するケースが多い。
- ② S音は主桁ウェブなどの振動加速度レベルが50dB以上あっても、耳桁支承部に水平振動がない場合は発生しない(図-5参照)。

(2) 振動、騒音の伝播

S音発生時の振動は、耳桁可動支承の水平振動が最初で、漸次減衰しながら伝播している(図-6参照)。そこで耳桁可動支承の水平振動を起点として各部材までの伝播時間をみると表-3のよ

表-3 各部材間の伝播速度

伝播方向*	振動(ac)		騒音(ac)	
	実測値	計算値	実測値	計算値
Vel-V1	0.002			
Vel-Ve6(S1-S6)	0.0085 ~0.010	0.009	0.0085	0.079
Vel-Ve5(S1-S5)	0.011 ~0.014	0.006	0.018	0.044
Vel-Vc2(S1-S2)	0.0018 ~0.0020	0.0018	0.0015 ~0.0025	0.011

* 鋼の伝播速度 4000m/sec
空気の音速 340m/sec

件1

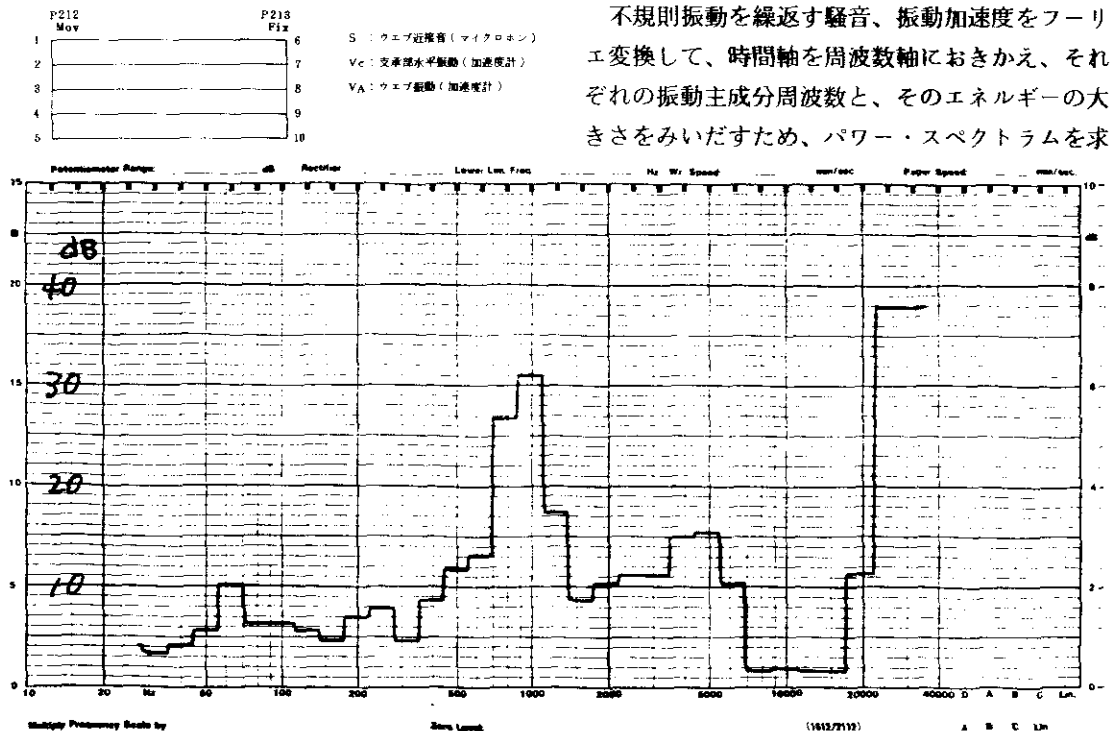


図-8 耳桁支承部水平振動加速度の1/3オクターブ分析(S音)

うになる。一方、騒音は空気伝播よりも鋼桁を伝播しながら振動が騒音に変化していることも同表でわかる。また、S音は0.5~0.7sec 持続していることが図-7により判明した。

(3) 1/3オクターブ周波数分析

- ① 支承部の水平振動加速度レベルは、S音発生時800Hz、1,000 Hzの振動周波数が他の周波数よりも15~20dB高く、ジョイント音の場合は800 Hzが4~5dB他の周波数より高い(図-8参照)。
- ② 騒音のdB(c)は車両走行音、S音とも20~40Hz、100~160 Hzにピークがある。S音については、振動加速度でみられた周波数600~1,300Hz帯の音圧レベルが走行音、ジョイント音にくらべ高く、聴感補正(dB(A))すれば低周波域が低下し、高周波域が顕著になり、800~1,000 Hzの周波数域が卓越し、耳桁支承部の水平振動加速度レベルの卓越周波数域と近似し、S音発生源と考えられる(図-10参照)。

(4) 振動波形解析

不規則振動を繰返す騒音、振動加速度をフーリエ変換して、時間軸を周波数軸におきかえ、それぞれの振動主成分周波数と、そのエネルギーの大きさをみだすため、パワー・スペクトラムを求

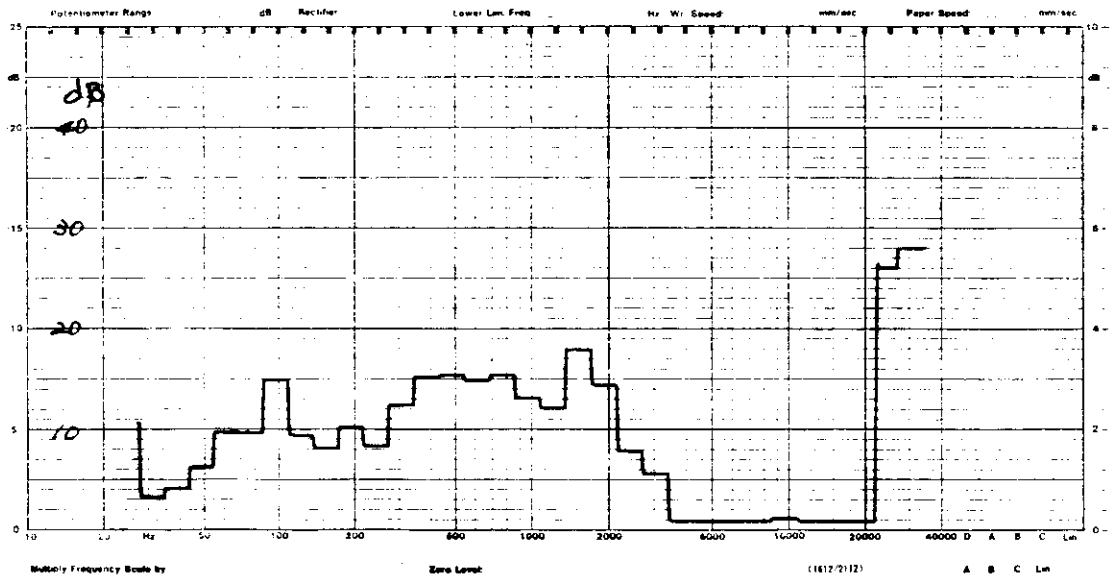


図-9 耳桁支承部水平振動1/3オクターブ分析
(ジョイント音)

めた。その結果、

- ① 耳桁支承部の橋軸直角方向水平振動加速度（X方向）の主成分は800～1,000Hzでレベルも大きい。この周波数帯域は騒音、振動加速度のいずれにも含まれている（図-11参照）。
- ② S音の主成分は、1/3オクターブ周波数分析C特性とパワー・スペクトラム分析の双方の結果がほぼ一致する。
- ③ 耳桁の橋軸直角方向（X方向）振動のピーク周波数と、S音のピーク周波数はほぼ一致する。
- (5) コヒーレンス関数およびクロス・パワー・スペクトラム

コヒーレンス関数は、伝達系のインパルス入力である2信号間の因果性についての関数でありこれを観察する事によって、その値が1に近いほど因果性が強いと予想できる。ただ、非線型要素のない場合には数値が1となる性質があり、判定を誤る恐れがある。このため、2信号間の関連性をみるため周波数軸に対して関連ある振幅スペクトラムとしてクロス・パワー・スペクトラムを

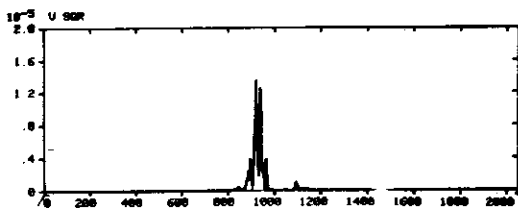


図-11 耳桁支承部パワースペクトル密度

用いて調査した。その結果、

- ① S音と支承部水平振動加速度のコヒーレンス関数について700～1,200Hzまで相関の有意性が認められる。
- ② 耳桁支承部X方向振動加速度とS音との関係は800～1,000Hz周波数域の範囲で一致する（図-12）。
- ③ 支承部X方向と各部材のX方向のパワー・スペクトラムについても800～1,000Hzにおいて一致している。

以上の各調査結果から、S音の発生原因は耳桁支承部可動柵の衝撃的な摩擦移動がウェブに伝達し、S音となっていることが判明した。この結論からS音対策として支承部のB・Pの取り替え工事を行った。

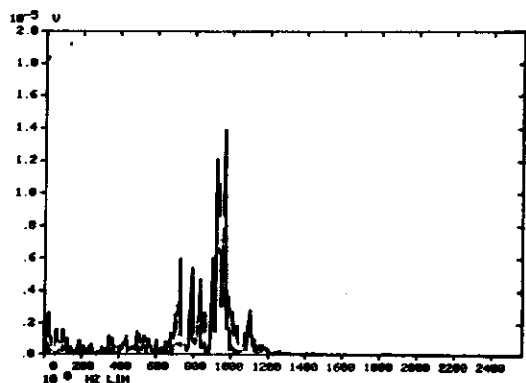


図-12 クロスパワースペクトル(支承部-S音)

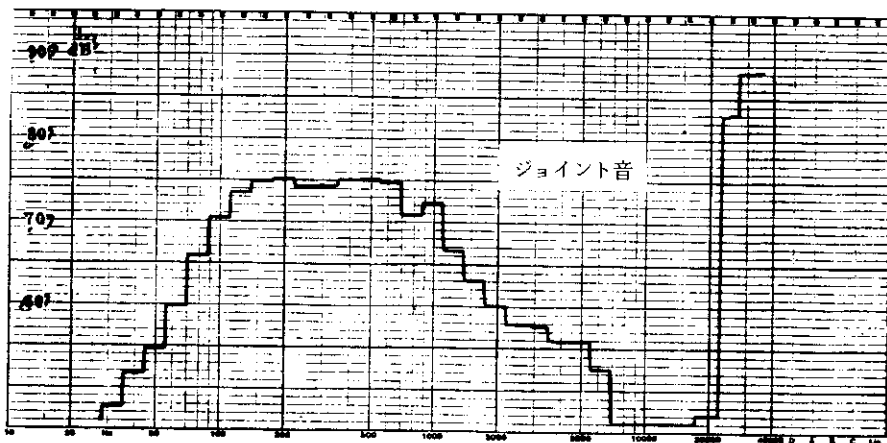
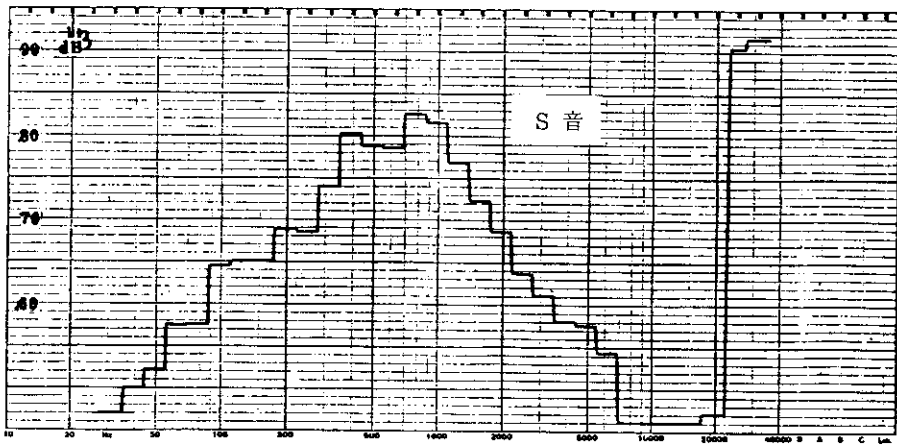
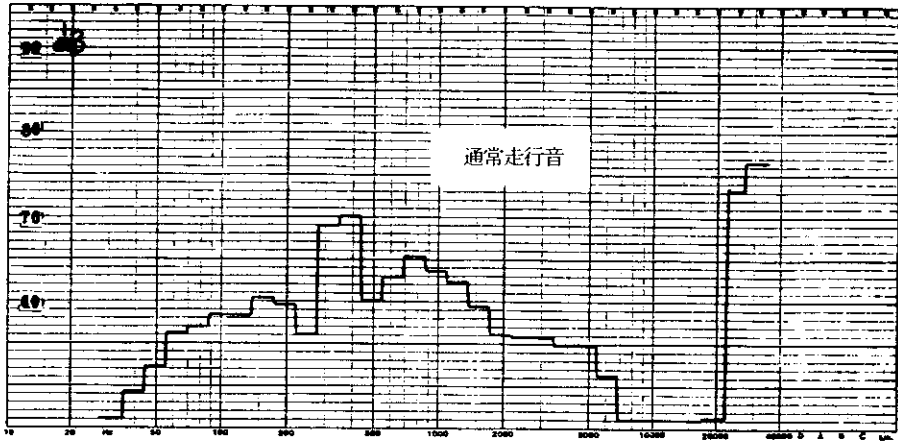


図-10 各音の1/3オクターブ分析(dB(A))

3. S音対策工事（B・P取り替え工事）

前節では、S音発生時の各部材の振動加速度などを測定し、鋼桁の振動、騒音を中心に述べたが、本節では杵（ベアリング・プレート）取り替え工事前後の主桁の挙動を測定し、温度変化ならびにS音と主桁の伸縮状況との関係を調査したものについて述べる。

3-1 調査項目

調査はB・P取り替え工事前後において次に示す項目について実施した。

① 主桁の橋軸および橋軸直角方向の変位測定

表-4 測定器と測定位置

付号	ch	種 別	位置と方向	記録計	備 考
→	1	変位計	G1 橋軸	XYレコーダー	* 連続24時間
"	3	"	G1 橋軸直角	"	
"	7	"	G5 橋軸	"	
"	9	"	G5 橋軸直角	"	
"	2	"	G1 橋軸	データレコーダー (ペンレコーダー)	* 衝撃音 (S音) 発生時
"	4	"	G1 橋軸直角	"	
"	5	"	G2 橋軸	"	
"	6	"	G2 橋軸直角	"	
"	8	"	G5 橋軸	"	
"	10	"	G5 橋軸直角	"	
▽	11	加速度計	G1 橋軸	"	
"	12	"	G5 橋軸直角	"	
"	13	"	G1 "	"	
○	14	普通騒音計		テープレコーダー	
□	15	熱電対	G1 外側	デジタルデータ 収録装置	* 15分 間隔 24時間
"	16	"	G1 1/6スパン内側	"	
"	17	"	G1 1/4 "	"	
"	18	"	G1 1/2 "	"	
"	19	"	G2 1/6 スパン	"	
"	20	"	G3 1/6 スパン	"	
"	21	"	G4 1/6 スパン	"	
"	22	"	G5 1/6スパン内側	"	
"	23	"	G5 外側	"	
"	24	"			気温

- ② 主桁の温度変化測定
- ③ 主桁（耳桁）の橋軸および橋軸直角方向の振動加速度測定
- ④ S音採取のための騒音測定

測定は連続24時間測定とS音発生時に着目した短時間測定にわけ、①、②については前者、③④については後者の測定を行った。

3-2 測定

主桁の変化測定は橋脚と主桁の相対変位をX・Yレコーダーによるアナログ測定とし、温度測定は多点デジタル・データ収録装置による15分間隔の24時間測定である。なお、各計測器の取付は図-13に示すとおりであり、表-4、図-14にはそれぞれ測定器と測定位置、使用測定機器およびダイヤグラムを示す。

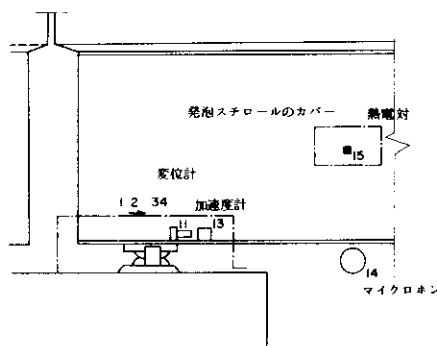
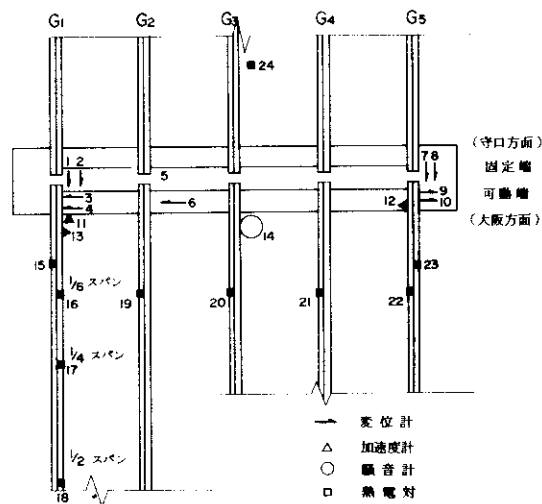
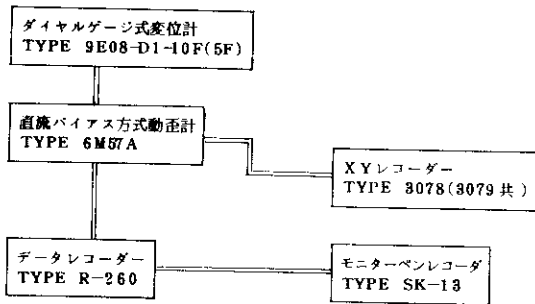


図-13 各計測器の取付位置

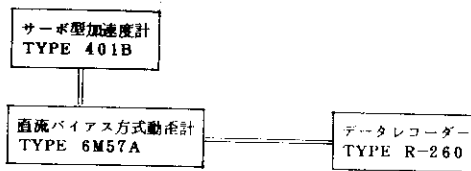
3-3 測定結果

図-15, 16はX・Yレコーダーによる主桁の変位を示したもので、24時間連続測定記録を示している。図-17にはその記録の拡大図を示す。紙送り速度は1cm/minで2成分の主桁変位を表わし、最小目盛は25 μ 、24時間のドリフトは5 μ 以下であった。主桁変位の特徴は、B・P取り替え工事前では全般に動きは鈍く、ステップ状に変位している。工事後は動きも多く、変位量も大きく表われている。すなわち、支承部で拘束されていた主桁がB・Pを取り替えたことによりその動き

a. 変位測定に使用した機器



b. 加速度測定に使用した機器



c. 騒音測定に使用した機器



d. 温度測定に使用した機器



図-14 使用測定機器およびダイアグラム

が滑らかになり、鋼桁に導入されている温度応力などが常時解放されていることになる。また、取り替え前ステップ状に主桁が変位した時にS音が発生することが多いが、変位量とS音発生回数の関係を表わすと図-18のようになる。S音は主に鋼桁が温度降下の影響を受ける深夜から早朝にかけての時間帯に多く発生する傾向にある。

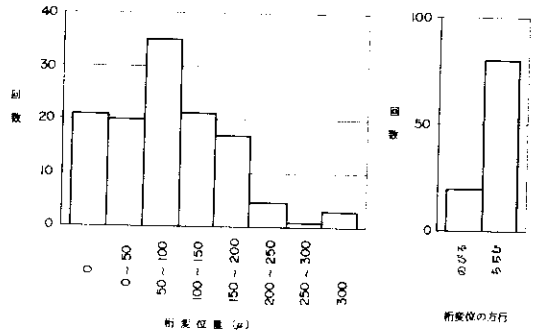


図-18 変位量とS音発生回数

支承部の水平振動の挙動は前節では重点測定項目として行ったが、本節では前節の再確認の意味も兼ねて測定した。加速度計(サーボ型)による振動記録の分析は前節と同じ要領で行ったが、結果はほとんど変わらず、S音発生時に主桁変位がステップ状に変化すると同時に、支承部に800~1,000Hzの水平振動波形が観察されていた。この両者の関係がどのような因果性をもっているのかを確認することが出来ず、S音発生メカニズムを明らかにするまでに至らなかった。

“参考” 加速度計により振動波形を観測する場合一般的には周波数域が0~1,000Hzの範囲内ではサーボ型を、また200~20,000Hzの範囲内では圧電型を使用することが計測器特性上望ましいと言われている。したがって、前節では周波数域が未知であったことから圧電型を、本節では測定経験を生かしサーボ型を用いた。

4. まとめ

「2.S音発生源解明」、「3.S音対策工事」で実施した測定結果を総括すると次のことがいえる。

- ① S音はB・P脊で支持される鋼桁から発生する。
- ② S音は耳桁可動支承部に周波数800~1,000Hzの振動が起る時に発生する。
- ③ S音は複数個の周波数から構成されており、これらの各周波数の音は各部材からの振動放射音が寄与しているものである。
- ④ S音は桁温度が降下する時間帯に多く発生する傾向にあり、主桁の伸縮曲線がステップ状に

変化する時に発生する。

- ⑤ 主桁の伸縮は気温変化と比例関係にあるが気温上昇時（日照）における主桁の伸びは理論値よりかなり大きい。
- ⑥ 主桁のステップ状の変位は、杢取り替え工事前後とも発生しており、むしろ工事後の方が回数も多く、変位量も大きい。しかし、ステップ状変位の形状は全く異なっている。

おおむね以上の事が調査測定の結果として判明するとともに、杢取り替え工事によって交換したB・Pの外観観察結果では、B・Pの固体潤滑材の配置が適当でないB・P、また、防塵装置が

不備で錆の発生している支承やゴミなどの混入により摩擦係数が増加していると思われる支承が多くみられた。また、B・P詳細検査においてもB・P母材表面に異常な摩擦痕が多数確認され、その深さは70 μ ~100 μ にも達しているものもあり、摩擦痕断面の顕微鏡観察によると母材が塑性流動しているものも一部発見された。

なお、建設時におけるS音対策の一策として舗装工事完了後主桁を数mmジャッキアップすることにより建設中の応力、ひずみを解放し支承部により均等な反力がかかる状態に改良させるものと考えられる。

あとがき

S音を追跡して約3年、その間の調査測定結果をここに報告書として集約することが出来た。この報告にはもっと記述しなければならない内容が多く残されているが、紙面の関係上割愛した。詳しい内容および記録波形などは下記の報告書を参照願いたい。

S音対策として、最終的にベアリング・プレートとの滑動不良ということで、新しいB・Pに取り替えることによって一応の解決をみ、既に2年以上経っているが、S音は現在のところ発生していない。しかし、本調査では、S音の発生メカニズムを明らかにすることが出来ず、今後は鋼桁の構造系についてその挙動を調査し、S音のメカニズムを解明することが大きな課題と考えられる。また我々が行った長期間の調査測定の反省として、出来るだけ精度のよい測定方法、測定、解析機器を用い、誤差を出来るだけ排除しなければならない。このためには他の専門分野で使用されている計測機器を最大限活用することが、より早く調査目的を達成出来るものと痛感した。

最後に、この調査測定のため連日連夜協力して

いただいた大阪管理部の関係職員、ならびに我々のために過大な協力をして下さった、㈱神戸製鋼 ㈱三菱重工業、㈱日本開発コンサルタント、オイレ工業㈱の関係各位に謝意を表します。

本報告は下記の報告書を基にまとめたものである。

- (1) 橋桁の衝撃音調査実験報告書（その1）
： 阪神高速道路公団，1977'，3
- (2) 同 上 （その2）
： 同 上 ，1978'，3
- (3) 騒音対策工事とその効果測定報告書
： 同 上 ，1978'，2
- (4) 大阪守口線騒音解析報告書（その1）
： 同 上 ，1978'，8
- (5) 同 上 （その2）
： 同 上 ，1979'，3
- (6) 杢補修工事に伴う測定報告書
： 同 上 ，1978'，12
- (7) ベアリングプレート支承の調査実験報告書
： 同 上 ，1979'，3

以上

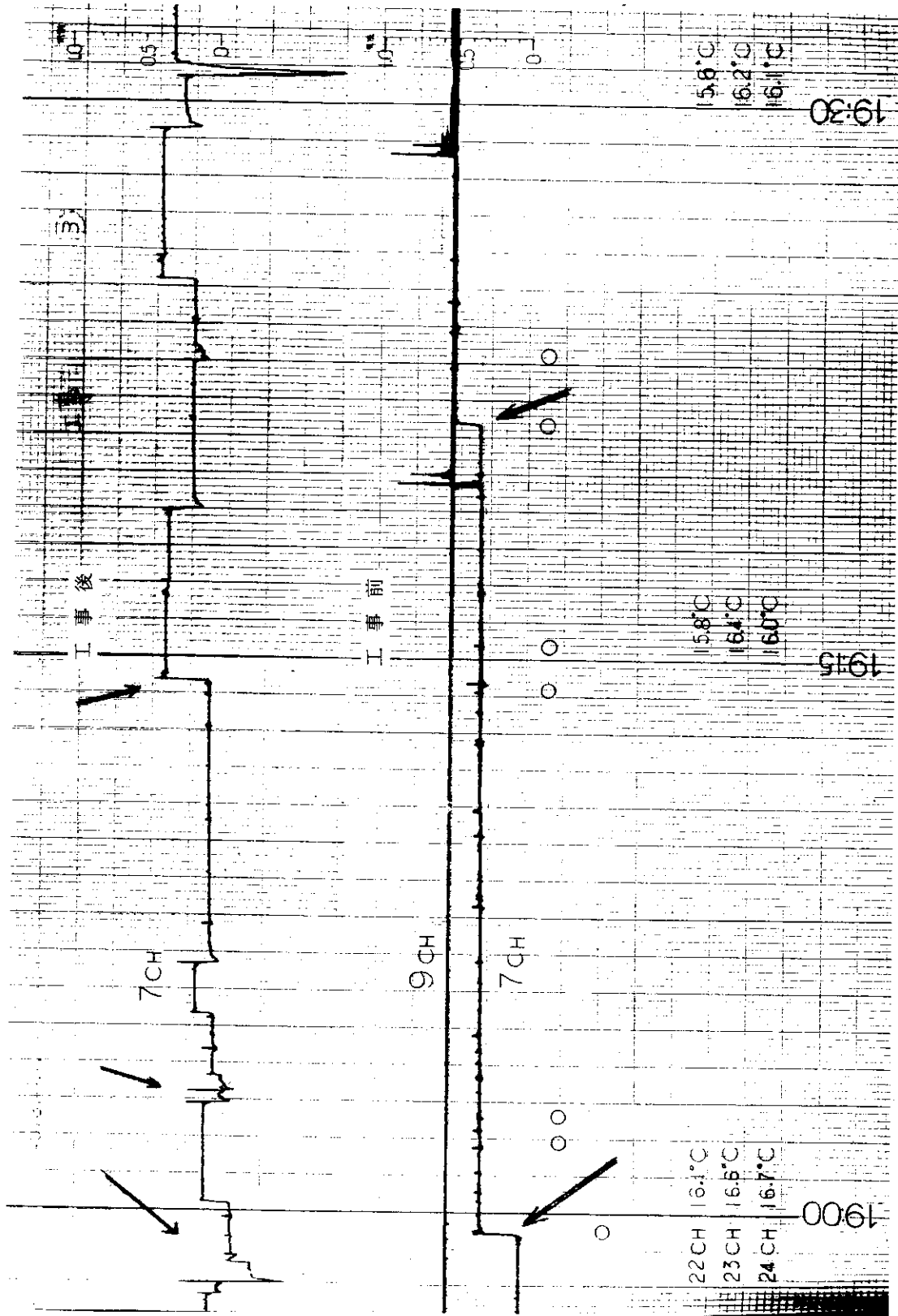


図-17 桁伸補強大図

图-15

守P-228 桁变位测定结果 (沓補修工事前)

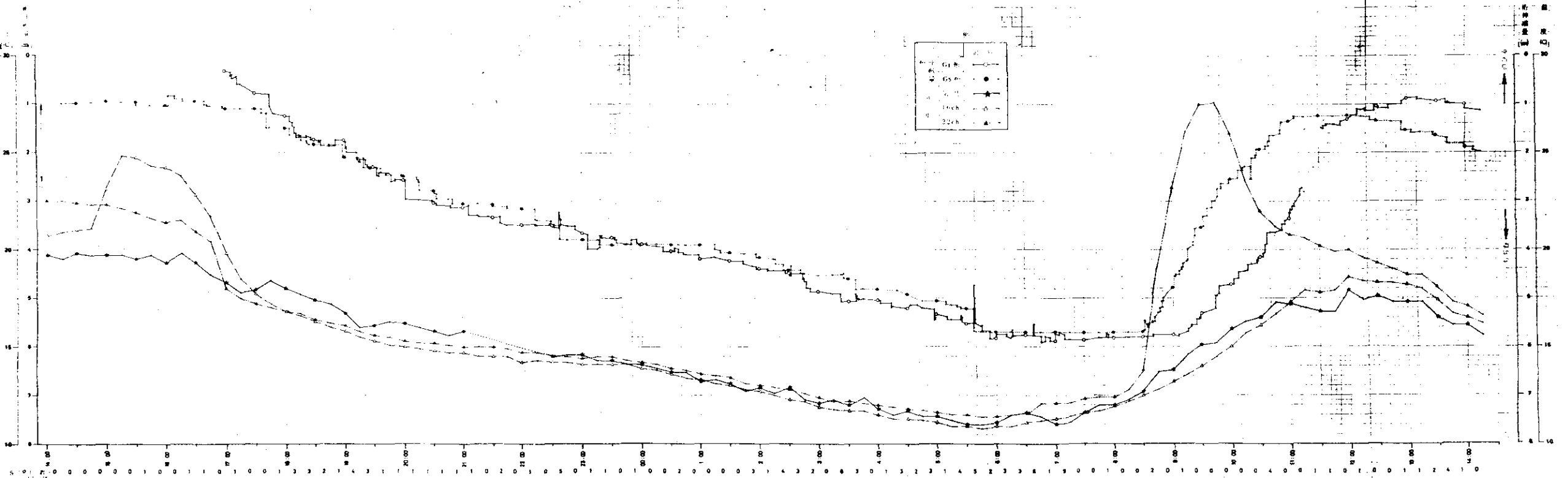


图-16

守P-228 桁变位测定结果 (沓補修工事後)

