

となり, (16)式の境界条件も満足される。すなわち, (62), (63)式はスリット管長がきわめて長く, 入口からの流入がなくなる場合の厳密解である。(13)式と(63)式より

$$p/w = H - z - \frac{H}{1 + f_2 b^2 / \eta r^2 A^2} e^{-2\tau(l_1 - x)} \dots\dots (64)$$

なお, この場合には当然スリット終端近くのみを論ずることになるから, l_1, x ともにはなはだ大きく, 従つて $\exp(-\beta x), \exp(-\beta l_1)$ は $\exp(\beta x), \exp(\beta l_1)$ に比して省略しようとの考えのもとに, 前述の第2次近似解(56)~(58)はいちじるしく簡単化することができる。例えば Q のみを示すと

$$Q = A \sqrt{\frac{2gH}{2\alpha + f_2}} \left\{ 1 - \frac{\lambda}{8R\alpha\beta} \left[\beta(l_1 - x) + \frac{2\alpha}{2\alpha + f_2} \right] \right\} \cdot e^{-\beta(l_1 - x)} \dots\dots\dots (65)$$

(62)式と(65)式を比較吟味すれば, 前述の近似解の誤差率を一応知ることができる。検算の結果によれば, 実用スリット管の範囲内では第2次近似解で十分であることがわかつた。

5. 結 語

以上をもつて一定幅の狭いスリットを有する等断面管の解を終ることとする。終りに, 本研究に当り, 終始御懇切なる御指導を頂いた土木研究所 村 幸雄室長に深謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 村 幸雄・荒木正夫：排砂機能を有する放水管の一設計について, 土木学会第11回年次学術講演会, 昭30.5.

(昭.30.8.18)

西条大橋の応力, タワミ, 振動測定結果について

正 員 工学博士 小 西 一 郎*
 准 員 山 田 善 一**
 准 員 大 橋 昭 光***

ON THE RESULTS OF MEASUREMENTS OF STRESS, DEFLECTION AND VIBRATION OF THE SAIJŌ-ŌHASHI BRIDGE

(JSCE March 1956)

Dr. Eng. Ichirō Konishi, C.E. Member, Yoshikazu Yamada, C.E. Assoc. Member
 Masamitsu Ōhashi, C.E. Assoc. Member.

Synopsis This paper is concerned with the experimental results on Saijō-ōhashi bridge which was taken notice of as the first bridge of composite box girder in our country, by applying the statical and dynamical loads. For statical measurements, the stress and deflection were measured, while for dynamical ones, the deflection was measured by using two trucks at still or in moving states. Moreover, other vibrational quantities such as periods and damping constants, were measured. They have especially clarified the rate of load distribution to each box girder, concerning the measurement of the statical deflection, since this has been the essential point to the box girder which has two main beams.

Theoretical considerations are also presented in this paper, regarding the experimental results.

要 旨 本文は, わが国最初の合成箱桁橋梁として注目された西条大橋において, 静的, 動的測定を行つた結果の概要を報告するものである。実験には試験荷重としてトラック2台を用い, 橋梁上静止の状態では, 応力, タワミを, 走行の状態ではタワミを測定し, さ

らに人力による加振で振動諸量を測定した。とくに2箱桁橋の設計では, 偏心荷重の作用による各桁の荷重分担の割合が問題となるので, タワミの測定ではこの点の解明を主眼とした。さらに実験結果に対しては簡単な考察を加えた。

1. 緒 言

本橋は, わが国最初の箱桁橋として, 大阪府長野市

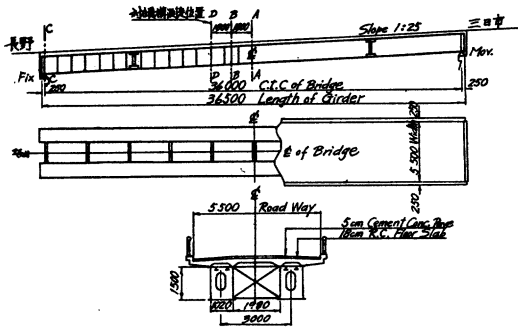
* 京都大学教授, 工学部土木工学教室兼工学研究所
 ** " 講師, 工学部土木工学教室
 *** " 助手, 同上

昭和 29 年架設された単純支持溶接合成箱桁橋（1 スパン，2 箱桁）で，その諸元は次のとおりである。

- スパン 36 m
- 有効幅員 5.5 m
- 使用鋼材 SS 41
- 設計荷重 第 2 種
- 床板 鉄筋コンクリート床板 厚さ 18 cm
- 舗装 コンクリート舗装 厚さ 5 cm
- 使用鋼材 267 kg/m²（対傾構，沓を含む）

現場継手はリベット接合を用いている。本橋の一般図は 図-1 に示した。

図-1 西条大橋一般図



本橋完成後において，昭和 29 年 12 月本実験では静的，動的測定を行つた。静的測定においては，トラック 2 台を用い，静応力ならびに静タワミを測定した。動的測定に関しては，トラック 1 台を橋梁上を走行させ，衝動効果を測定するとともに，人力を用いて橋桁を加振し，その後の自由振動から振動周期と減衰常数を測定した。

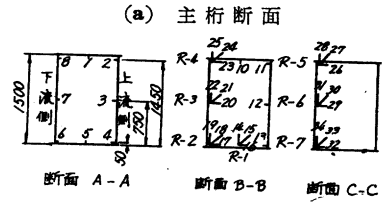
2. 実験に用いた機器，載荷荷重

(a) 測定用機器 静的応力の測定用として，ワイヤストレーンゲージを用い，インジケータは Baldwin SR-4 Type (12 成分)，新興通信 PS-7 型（スイッチボックス 4 基を用い，40 成分）を用いた。タワミおよび振動測定用として，田辺式タワミ計 2 基，ASKANIA Hand Vibrograph 1 基を用いた。さらに振動測定用としては，機械式上下動振動計（倍率 12 倍自己振動周期 1.8 sec，オイルダンパー使用）を用いている。

(b) ゲージ接着位置 ゲージは共和無線 K-1，ならびに KR-1（ロゼットゲージ）を用いた。接着位置は 図-1 に示した断面 A, B, C の下流側箱桁断面，および D の対傾構で， 図-2 に示す位置である。全部で 56 成分の接着を行つた。以下便宜上ゲージの番号として， 図-2 に示したものを用いる。

(c) 載荷荷重 実験用荷重は，トラック 2 台に砂利を満載し，それぞれ 20 t, 10 t として使用した。ト

図-2 ゲージ接着位置およびゲージ番号



(b) 対傾構

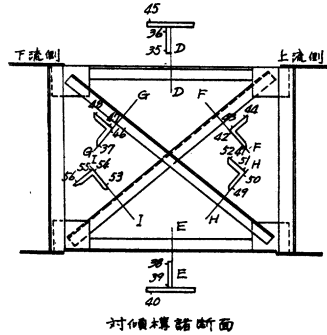
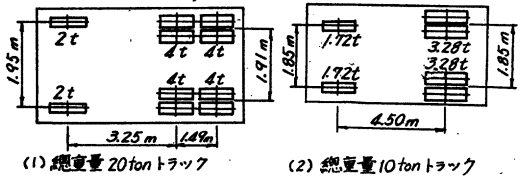


図-3 載荷用トラック詳細図



ラックの詳細は 図-3 に示した。

(d) 載荷位置 静的測定に対する荷重載荷位置はゲージ接着断面（C断面を除く）に 20 t トラックの最後輪がくるようにし，かつ 2 台のトラックは背面で接するように配置した。各ゲージ接着断面ごとに，幅員方向に対して，最上流側，中央，最下流側の各位置に載荷した。載荷位置は，テープで正確に測定したが表-1 にはその概略の位置を実験の番号と対比して示した。

表-1 トラック載荷位置

実験番号	20 t トラック後輪位置	幅員方向の位置	備考
No. 1	A 断面	下流側	10 t トラックは背面で接す
No. 2	A "	中央	
No. 3	A "	上流側	"
No. 4	D "	下流側	"
No. 5	D "	中央	"
No. 6	D "	上流側	"
No. 7	C断面より 1.3 m	20 t トラック上流側 10 t トラック下流側	20 t 10 t 両トラック併置
No. 8	B 断面	下流側	20 t トラックのみ
No. 9	B "	中央	"
No. 10	B "	上流側	"

3. 実測の結果

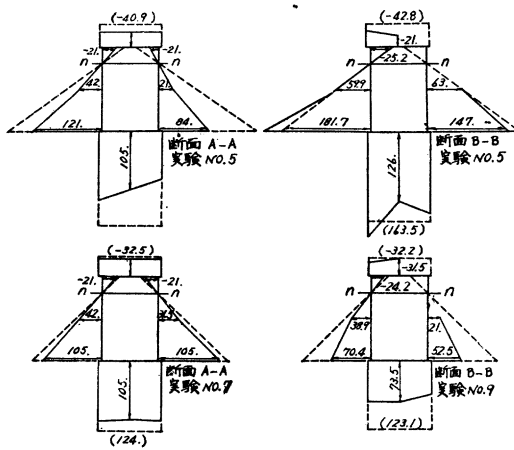
表-2 主桁スパン方向垂直応力 σ_x の実測結果 (kg/cm²)

断面	ゲージ番号	実験 No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.8	No.9	No.10
A	1	-31.5	-115.5	-63.0	—	—	—	—	—	—
	2	-31.5	-63.0	-52.5	-42.0	-21.0	-21.0	-21.0	-21.0	-21.0
	3	+73.5	0	+42.0	+42.0	+21.0	+42.0	+31.5	+31.5	+31.5
	4	+157.5	0	+84.0	+147.0	+84.0	+115.5	+105.0	+105.0	+84.0
	5	+157.5	+42.0	+94.5	+126.0	+105.0	+136.5	+105.0	+105.0	+94.5
	6	+168.0	+105.0	+105.0	+126.0	+121.0	+147.0	+84.0	+105.0	+105.0
	7	+73.5	+21.0	+42.0	+42.0	+42.0	+63.0	+31.5	+42.0	+52.5
	8	-31.5	-94.5	-52.5	-42.0	-21.0	-21.0	-21.0	-21.0	-21.0
B	10	-31.5	-94.5	-63.0	-63.0	-21.0	-42.0	0	-31.5	0
	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12	+52.5	-84.0	+21.0	+21.0	+63.0	+42.0	+31.5	+21.0	+31.5
	13	+147.0	+42.0	+126.0	+136.5	+147.0	+105.0	+84.0	+52.5	+84.0
	14	+147.0	-31.5	+105.0	+126.0	+126.0	+126.0	+84.0	+73.5	+84.0
	17	+150.2	+114.5	+102.8	+120.8	+181.7	+137.6	+89.3	+70.4	+73.0
	20	+65.1	+64.1	+52.5	+71.4	+59.9	+56.7	+43.0	+38.9	+35.7
	23	-29.4	-17.9	-23.1	-21.0	-25.2	-21.0	-21.0	-21.0	-22.1

傾構の応力分布はかなり不規則である。

3) 断面BおよびCにおけるセン断応力 τ : 断面Bに接着した矩形ロゼットゲージR-1, R-2, R-3, R-4による三方向の実測ヒズミを実験No. 2,5,9について求め、 τ を計算すれば表-3をうる。

図-4 主桁スパン方向直応力 σ_x (kg/cm²) 分布図



実験は上記のトラックの動的載荷を主として、さらにトラック走行によるタワミ測定、振動測定などを行った。

(a) 載荷荷重による静的応力測定結果

1) 主桁のスパン方向直応力 σ_x : 主桁断面AおよびBにおけるスパン方向直応力 σ_x の実測結果を一括して表示すると表-2のようである。表-2に求められた実測応力 σ_x に従ってその分布を実験No.5,9について示すと図-4のようになる。実験No.5,9は荷重が幅員の中央にある場合で、図に示した点線は2本の主桁がそれぞれ1/2の荷重を分担するものとして計算した応力値である。この場合 $n=6$ とし、 I はコンクリート断面に換算して $I=47550000 \text{ cm}^4$ を用いた。

2) 対傾構の応力測定結果 : 図-2に示すように対傾構山形鋼の各D,E,F,G,H,Iの断面で測定を行った。測定結果の詳細は省略するが、最大 300 kg/cm^2 にもおよぶ応力を生じている。また主桁とことなり対

断面Cに接着した

ロゼットゲージR-5, R-6, R-7による実測ヒズミを実験No.7,9について求め、これより計算した τ を表-4に示した。実験No.5,9に対して、断面Bのセン断応力 τ の分布を画くと、図-5をうる。

表-3 セン断応力 (kg/cm²)

実験番号	No.2	No.5	No.9
τ_{R-1}	-52.5	+9.7	+8.08
τ_{R-2}	—	—	—
τ_{R-3}	-2.02	+8.5	+6.06
τ_{R-4}	-6.06	-2.84	+2.82

表-4 セン断応力 (kg/cm²)

実験番号	No.7	No.9
τ_{R-5}	-55.7	-10.5
τ_{R-6}	-30.7	-8.08
τ_{R-7}	—	—

図-5 断面Bにおけるセン断応力 τ (kg/cm²)

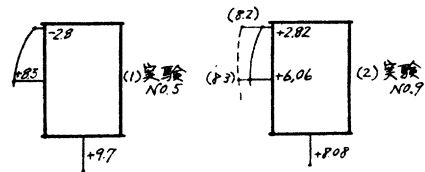
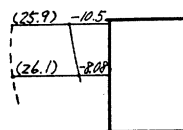


図-6 断面Cにおけるセン断応力 τ (実験No.9)



実験No.9に対して断面Cのセン断応力 τ の分布を画くと図-6をうる。なお点線はセン断理論による計算値である。

(b) タワミの測定結果

タワミの測定は静的、動

的ともに行い，静的タワミ測定は応力測定と平行して行つた。タワミの測定には，田辺式タワミ計と，ASKANIA Hand Vibrograph を使用した。設置位置は上下流両主桁の内側でスパンの中央に田辺式タワミ計をそれぞれ1基，下流側主桁外側でスパン中央にASKANIA Hand Vibrograph を取付けた。田辺式タワミ計は倍率2倍，ASKANIA Hand Vibrograph は倍率1倍で使用した。

1) 静的タワミ測定結果：静的タワミの測定結果を一括して表示すると表-5 のようである。つぎに幅員

表-5 静的タワミ測定結果 (mm)

測定主桁 実験番号	上流側		下流側	
	内側 (田辺式)	内側 (田辺式)	外側 (ASKANIA)	
No.1	7.0	8.1	9.05	
No.2	7.65	7.75	7.2	
No.3	8.4	7.0	6.2	
No.4	6.6	7.5	7.5	
No.5	7.3	7.2	7.0	
No.6	7.7	6.6	5.95	
No.7	2.0	2.0	1.95	
No.8	4.6	5.5	5.2	
No.9	5.0	5.0	4.8	
No.10	5.4	4.9	4.1	

図-7 トラックによるタワミ分布図

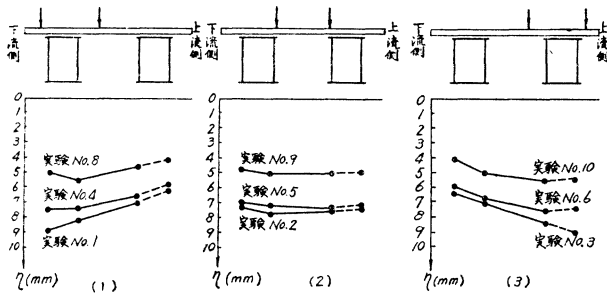
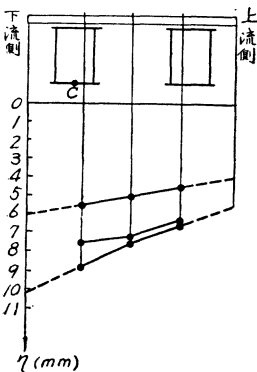


図-8 箱桁カバープレート C 点の偏心軸荷重によるタワミ影響線



方向タワミ分布を示したのが図-7である。各図には実験番号ならびに図の上方には模型的な図によつて，自動車荷重の作用点の概略の位置を示した。なお図中点線で示したのは荷重の対称性から，下流側主桁外側の記録をもつて示したものである。いま図-7を利用して下流側箱桁下部カバープレートの中央点

C のタワミ影響線に相当するものを画くと，図-8 のようになる。ただし 図-8 の荷重位置は 図-7 の2個の車輪の重心位置から求めている。また破線で示した部分は橋断面が載荷によつて変形しないものと仮定した場合の推定線を示す。

表-6 動的タワミ測定結果

	速 度	10 km/hr	20 km/hr	30 km/hr
上内流主桁側	η_{st} (mm)	5.0	5.0	5.0
	η_{dy} (mm)	2.5	1.8	1.5
	i (%)	50	36	30
下内流主桁側	η_{st} (mm)	5.0	4.7	5.0
	η_{dy} (mm)	2.5	2.0	1.7
	i (%)	50	43	34
下外流主桁側	η_{st} (mm)	5.0	5.0	5.0
	η_{dy} (mm)	2.4	2.0	1.5
	i (%)	48	40	30

2) 動的タワミ測定結果：動的タワミの測定は主として衝撃に関する測定値をうるのが目的であつて，20 tトラックを橋梁の中心線上において，種々の速度で走行させ，その場合のタワミを測定した。測定結果を表-6 に示す。なお本実験では取付道路の関係で速度を30 km/hr 以上にあげ得なかつたので，実測結果はわずかに3回にすぎないが，衝撃に対する大体の値は知りうるものと思う。

(c) 振動周期および対数減衰率の測定結果

走行トラック通過後の減衰振動から，ASKANIA Hand Vibrograph によりその振動周期を求めると，振動振幅には関係なく平均 0.285 sec である (振動数 3.51 sec⁻¹)。また上下振動計により，人力により加振し，以後の記録をとると，振動周期は 0.288 sec となり，自動車通過後の記録とはほぼ一致する。

また対数減衰率は各記録ごとに 0.094, 0.101, 0.096, 0.092, 0.096, 0.097, 0.096, 平均 0.096 の測定結果を得た註)。

4. 測定結果の考察

(a) 応力測定結果に対する考察 主桁のスパン方向垂直応力 σ_x : 図-4 における断面 A および B の実験 No. 1, 4, 8 はゲージを接着した主桁上に荷重のある場合，実験 No. 3, 6, 10 はゲージを接着しない主桁上に載荷がある場合であり，実験 No.1 と 3, No.4 と 6 No.8 と 10 はそれぞれ偏心載荷による2本の箱桁のスパン方向垂直応力 σ_x に相当するものである。表-2 からわかるように偏心荷重側の箱桁応力は，他側の箱桁応力よりわずかに大きい，その差はいちぢるしいものではない。これは床板および対傾構による荷重

分配作用の影響によるものである。また1本の箱桁に注目した場合でも、箱桁中心と荷重中心の偏心が小さい場合、すなわちその箱桁の直上に近く荷重が載荷されたときは、上部カバープレート、下部カバープレートはそれぞれ σ_x が一樣に近く、また2枚のウェブプレートの応力にはほとんど大きい差は認められない。これは箱桁中心と荷重中心の偏心が大きい場合についてもいえる。

実測応力と計算応力 ($n=6$) との比は図-4に実線と点線で記入してある応力分布からわかるように、引張側で70~85%、圧縮側で63~85%である。

実測結果の中立軸の位置は本試験に用いた荷重の大きさの範囲では、本橋の設計計算に用いた $n=10$ より $n=6$ とした方が比較的良好に計算結果に一致する。

対傾構の実測応力のうち最大のもは 300 kg/cm^2 である。対傾構に関しては、他の機会に改めて検討する考えである。

セン断応力：断面Bにおけるセン断応力 τ の分布は図-5に示すように、ほぼセン断流理論に従った応力分布をしている。断面Cにおける実験 No.7によるセン断応力 τ は約 $30 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ 程度である。

(b) 静的および動的タワミ測定結果に対する考察
 載荷側主桁と非載荷側主桁のタワミの間には、かなりの差が認められるが、通常I型断面桁橋の設計計算に用いられている荷重の分配方法に従った場合のタワミ量の差異に比べればはるかに小さい。2主桁のタワミの差異や、主桁1本についてもその内側、外側におけるタワミの差異については、くわしくは曲げ振り理論に従って求めねばならないが、いま簡単のために荷重が幅員の中央にある場合には、2主桁がそれぞれ1/2ずつの荷重を分担するものとしてタワミを計算した結果を表-7に示した。計算では一様断面と考えた場合の I として最大断面2次モーメント I_{\max} の5/5.4をとつた。 n を大きくとれば、表-7の比はさらに小さくなる。

表-7

実験番号	計算値(mm)	測定値(mm)	測定値/計算値(%)
No.2	9.0	7.5	78
No.5	8.2	7.1	86
No.9	6.2	4.9	79

つぎに動的試験の結果であるが、表-6にみるように、その衝撃率(振動振幅/静タワミ)はかなり大きい。

衝撃率については荷重の種類、荷重のもつ固有周期、荷重の速さ、橋梁の固有周期、減衰係数、橋面の状態、ひいては車両が橋梁に入るまでの運動状態など

により、いちじるしく左右されるものであるから、1種類の荷重に対してのみ云々することは、あまり意味がないので、この値からただちに設計に用いた衝撃係数を批判することはむづかしい。ただ一般に振動の多い橋梁が、構造的に欠陥があるように考えられがちであるが、これはまた別個に検討を必要とする。

(c) 振動周期対数減衰率測定結果に対する考察

タワミの計算に用いた等価断面2次モーメント I を用いて、タワミ、振動数を計算すると

$$\nu = \frac{\pi}{2I^2} \sqrt{\frac{EIg}{w}} = \frac{\pi}{2 \times (3600)^2} \times \sqrt{\frac{2.1 \times 10^9 \times 4.4 \times 10^7 \times 980}{6 \times 25.6}} = 2.89 (\text{sec}^{-1})$$

となり実験の結果とかなり異なってくる。いまタワミの測定値と計算値の比は80%として、 I の計算をしなおし、振動数を求めると、

$$\nu = 3.28 \text{ sec}^{-1}$$

また70%として計算すると

$$\nu = 3.51 \text{ sec}^{-1}$$

となり、実測の結果とかなりよく一致する。従つてタワミの場合と同様に $n=6$ として計算したものより、実際の剛性は20~30%くらい大きいと考えてよいようである。対数減衰率の測定値の平均0.096は普通の新設橋梁と同程度のものである註)。

5. 結 語

以上西条大橋における実験と、その結果についてのべ、簡単な考察を行った。本実験から得られた結果のおもなものとしては、

- 1) 主桁のスパン方向垂直応力 σ_x の実測値と計算値 ($n=6$) の比は、対称荷重に対して、引張側で約70~85%、圧縮側で約63~85%である。
- 2) 実測結果から得られる中立軸の位置は計算で $n=6$ としたものより比較的良好に一致している。
- 3) 偏心荷重側の箱桁応力は他の側の箱桁の応力より、わずかに大きい、その差はいちじるしいものではない。これは床板および対傾構の荷重分配作用によるものと考えられる。
- 4) 箱桁中心と荷重中心の偏心が小さい場合、すなわちその箱桁の直上に近く荷重の載荷された場合は上部カバープレート、下部カバープレートはそれぞれ σ_x が一樣に近く、また2枚のウェブプレートの応力にはほとんど大きい差は認められない。
- 5) 対傾構山形鋼の最大実測応力は約 300 kg/cm^2 程度である。
- 6) 主桁のセン断応力の分布は図-5にみられるように、ほぼセン断流理論を裏づけている。
- 7) タワミの測定値は表-5に示したとおりであつ

て、荷重に対して、その実測値と計算値とを比較すると実測値は計算値の 78~86% である。

8) 偏心荷重をうける場合タワミの分布は 図-7 に示すとおりであり、図から左右主桁の荷重分担の様子ならびに主桁の振りの様子を知ることができる。また 図-7 より求めた 図-8 からは荷重位置に対する 1 主桁の荷重分担を知ることができる。

9) 走行荷重に対する 衝撃率は 測定範囲では 30~50% である。

10) 自由振動周期は 0.285 sec で、計算値 0.346 sec よりかなり小さい。ただしタワミの測定結果と計算値の比から、曲げ剛性 EI を逆算し、その結果から振動数を計算すれば、実測結果とかなりよく一致する。

11) 対数減衰率の平均値は 0.096 で、一般の新設橋梁におけるものと同程度の値を示している。

これらの結果に対しては、さらに合理的な計算を行うことによつて、より明確に説明されるものと考えており、この点に関しては、改めて報告する機会があるものと思う。本実験が合成箱桁の設計の合理化という点に関して、何らかの参考になれば幸いである。

本実験に対しては大阪府土木部より種々の便宜を与えられたことを付記し、深謝の意を表する次第である。

註) : 対数減衰率 δ は、 $\delta = \kappa\tau$ で定義する。 κ は減衰係数、 τ は振動周期、小西・山田「既設鋼道路橋の振動減衰について」土木学会誌、38-10、昭和 28 年では κ を主として用いたが、 δ を用いた方がより合理的なことが明らかとなつた。理由は小西・山田「鋼構造物の減衰性と桁橋の強制振動性状について」土木学会誌、41-2、にのべている。(昭.30.8.25)

新刊紹介

土質工学会編 土質試験法解説 第1集

B 6 判 200ページ・昭 30.10 刊、土質工学会発行
価：土質工学会員 150 (〒15)、一般 160 (〒15)

土質試験をいかに行うか？ 試験の結果をいかにとりまとめるか？ この問題に答えて、さきに「土と基礎」誌上に土質試験法およびその解説が連載された。

本書はこれらを大改訂増補して集録した上、新たにデータシートを付して計画および結果のとりまとめ

方を示したものである。

以下本書の特色としてあげうるものを抜き出そう。

1. 各試験方法 (JIS A 1201~1215) について実施上の注意をあげて具体的に解説した。
2. データーシートの例を示して計画など試験結果のとりまとめ方を説明した。
3. 試験の目的や意義についてできるだけ解説し、術語の解釈を説明した。
4. 土の基本的性質一覧表、単位換算表および試験器材について付録をかかげた。

(編 集 部)

.....優良取次書籍案内.....

書名	著者	定価	送料	発行所
寒中コンクリート施工法	近藤 泰夫 訳	120	20	国民科学社
コンクリート配合設計法	〃	140	20	〃
コンクリートダム	村 幸雄 訳	850	50	〃
土木施工法	谷口 三郎	1 300	70	風間書房
砂利道の建設と補修	谷藤 正三	140	20	オム社
土質力学演習	三木 五三郎	170	20	〃
アースダム	河上 房義	120	20	〃
アースダムの科学的施工法	〃	120	20	鹿島技術研究所出版部
日本建設機械要覧	日本建設機械化協会	2 500	100	日本建設機械化協会
ダム建設の機械化	〃	1 500	100	〃
土堰堤の設計	河上 房義	180	30	共立出版 K K
コンクリート型枠	八木原 万吉	180	30	〃
土木工法資料	磯崎 伝作	400	30	理工図書 K K
水路隧道施工法	高橋 清蔵	250	30	〃
寒中コンクリート	堀 松 和 夫	180	30	〃