

今月は論文集第115号(40年3月発行) 登載予定論文としてつぎの3編を紹介します。次号では第116号(40年4月発行)として下記の4編を紹介する予定です。

丸安隆和：写真判読による地すべり、崩壊地の統計的研究

吉村虎蔵・平井一男：はりあるいはラーメン トラスを組合せた構造物の動のおよび静的解析法

平井 敦・西脇威夫：側径間のある補剛トラス アーチ橋について

松本順一郎・大沼正郎：し尿消化槽脱離液の活性汚泥処理に関する実験的研究

補剛アーチ橋およびつり橋の動的共通解析(鉛直振動)

吉村虎蔵・平井一男

1. ま え が き

さきに筆者らは、支承上でアーチが補剛桁と偏心結合されていないランガー桁について、その固有振動数・振動モードの解析の2法を示し、走行荷重によるレスポンスの解析、動的定数を用いた静的たわみ・静的曲げモーメントの解析、死荷重によるアーチ推力の効果などについて発表した。ここではまず、補剛トラスをもつつり橋・ランガー橋を動的解析するときに必要な、トラスの桁への換算法について新しい提案をした。つぎに偏心結合のあるランガー桁の適合条件式・振動数方程式を求め、これをランガー トラスに適用した。またローゼ桁は、アーチの断面2次モーメントを換算してこれを補剛桁のそれに加算した仮想の補剛桁をもつランガー桁として解析できるようにした。同様の手法で逆ランガー・逆ローゼ・タイドアーチ橋などを解析できるようにした。つり橋は、補剛桁がアーチで補強されているランガー桁と、桁をケーブルあるいはアーチで補強するという意味では同一構造と考えられる。この点に着目してつり橋をランガー桁と同じ式で動的解析できるようにした。弾性理論・線形化したたわみ度理論の両者について述べた。なお数値計算によって、この理論の精度の吟味を行ない、おもに結合法について、またエネルギー法についても記述した。

2. 補剛トラスの断面2次モーメントの換算

補剛トラスの換算断面2次モーメントは、通常式(1)によって求めているが、動的解析にあたってつぎの換算

法を提案する。

$$I_r = A_u A_l h^2 / (A_u + A_l) + J \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $A_u(A_l)$ ：上(下) 弦材の断面積、 h ：トラス高、 J ：上下弦材のそれぞれの図心軸に対する断面2次モーメントの和

すなわち、トラスと置換桁(単純はり)とに $p_n \sin(n\pi x/l)$ なる分布荷重を別々に作用させ、このとき両者のたわみを等置することによって、 $n=1,2,3,\dots$ のそれぞれに対応して換算断面2次モーメント $I_{g1}, I_{g2}, I_{g3}, \dots$ を決定する。これらを用いた動的解析法によって、静的たわみの影響線を求め、これと静力学的解とを比較して換算法を吟味し、スパンが150m程度より小さいトラスに対しては式(1)は適当でないことがわかった。

3. 偏心結合のランガー桁・ランガー トラス

アーチと補剛桁が支承上で偏心量 e を持って結合されているとき、ランガー橋が

$$y = \sum_n a_n \sin(n\pi x/l) \dots \dots \dots (2)$$

の変形をすると、アーチに生じる水平推力 ΔH は適合条件式から式(3)で与えられる。

$$\Delta H = \sum_n \frac{16 E f B}{l^2 \pi} \cdot \frac{a_n}{n} \left\{ 1 + \frac{n^2 \pi^2 e}{8 f} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

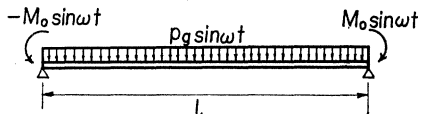
ここに、

$$B = A_a A_g \left[A_a + A_g \left\{ 1 + 8 \left(\frac{f}{l} \right)^2 + 19.2 \left(\frac{f}{l} \right)^4 \right\} \right]$$

$A_a(A_g)$ ：アーチ(補剛桁)の断面積、 f ：アーチのライズ

単純ばかりが 図-1 に示される周期力をうけているとき、そのレスポンスは式(4)にて与えられる。

図-1



$$W = \sum_n \frac{\{\Phi_n(x)\}_{\max}}{\omega_{gn}^2 - \omega^2} \left[\int_0^l p_g \Phi_n(x) dx - 2 \Phi_n'(x_j=0) M_0 \right] \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \sin \omega t \dots (4)$$

ただし、

$$\omega_{gn}^2 = \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 \sqrt{\frac{EI_{gn}}{\rho}}, \quad \Phi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\rho l}} \sin \frac{n\pi x}{l}$$

いま、式(4)が示す変形をランガー桁に強制的に与えたとき、アーチに作用する推力 ΔH は式(3)を用いて、

$$\Delta H = \frac{16 E f B}{l^2 \pi} \sum_n \left[\frac{1}{n} \left\{ 1 + \frac{n^2 \pi^2 e}{8 f} \right\} \cdot \frac{\{\Phi_n(x)\}_{\max}}{\omega_{gn}^2 - \omega^2} \cdot \left\{ \int p_g \Phi_n(x) dx - 2 \Phi_n'(x_j=0) M_0 \right\} \right] \sin \omega t \dots \dots \dots (5)$$

にて与えられる。ランガー橋が式(4)の変形を行ない、

その結果アーチに作用する推力 ΔH が式 (5) で与えられたとき、補剛桁と切り離れたアーチに働く等分布周期力の強度 p_a はつぎの通りである。

$$p_a = 8 \Delta H \cdot f / l^2 \dots \dots \dots (6)$$

いま、このように決定した分布荷重 p_a と推力 ΔH とをアーチに作用させながら、一方補剛桁には $p_g \sin \omega t$ なる等分布周期力と ΔH なる水平推力を上突縁に作用させながら、この両者を重ね合わせて結合すると (図-2)、ランガー橋が組み立てられる。ゆえに式 (6) に式 (5) を入れ、かつ自由振動しているときには外力は働いていながら $p_a + p_g = 0$ の条件を用いると次式が得られる。

$$1 + \frac{512 E f^2 B}{\pi^2 \rho l^4} \cdot \sum_n \left[\frac{1}{n^2 (\omega_{gn}^2 - \omega^2)} \cdot \left\{ 1 + \frac{n^2 \pi^2 e}{8 f} \right\}^2 \right] = 0 \dots \dots \dots (7)$$

この式は振動数方程式となる。また、振動モード $\varphi_m(x)$ は、式 (7) より求めた固有振動数 $\omega_{em} (m=1, 3, \dots)$ を式 (4) に代入すればただちに得られる。すなわち、

$$\varphi_m(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{n (\omega_{gn}^2 - \omega_{em}^2)} \cdot \left\{ 1 + \frac{n^2 \pi^2 e}{8 f} \right\} \sin \frac{n \pi x}{l} \right] \dots \dots \dots (8)$$

4. ローゼ桁その他のアーチ橋

ローゼ桁はランガー桁のアーチ部に曲げ剛性を持たせてアーチを補強したものであるから、ここではランガー桁について述べた解析において、アーチの曲げ剛性をその式の中に導入する方法をとった。いまつり材の伸びは無

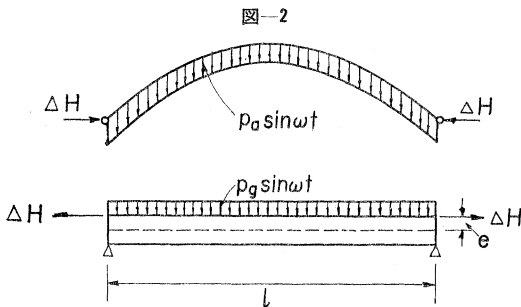


図-2

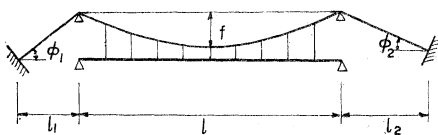
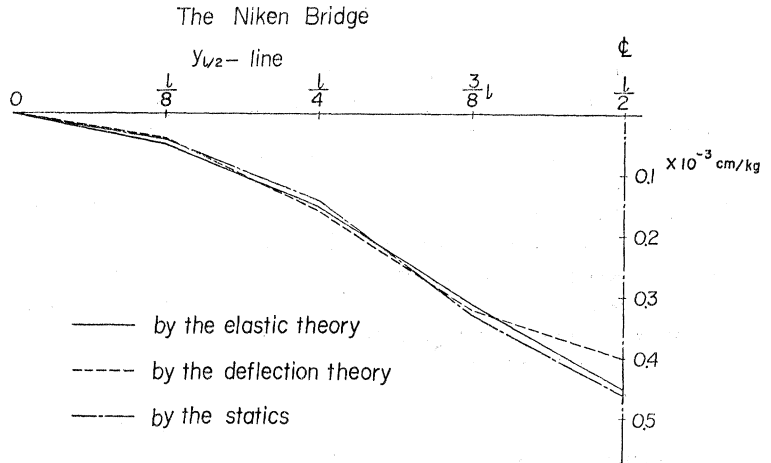


図-3

図-4



視しているの上弦材と下弦材とは同じ変形をしている。このような変形の条件を使用すればローゼ桁は、補剛桁が見かけ上 $E(I_{a0} + I_g)$ なる曲げ剛性を持ったランガー桁と考えることができる。ただし、 I_{a0} はアーチの I_a にその点の $\cos \alpha$ を乗じた値の平均値、ゆえに、3. の解析がそのまま適用できる。同様に逆ランガー桁・逆ローゼ桁・タイドアーチ橋・2ヒンジリブアーチ橋などがランガー桁の動的解析として取り扱えることになる。

5. つり橋

ランガー橋はアーチ部を補剛桁によって水平に弾性支持されているが、つり橋では中央ケーブルの両端を背控ケーブルで弾性支持されている。このような両者の対応関係を用いると、図-3 に示すつり橋の場合、その補剛桁の仮想断面積 A_g' を式 (9) で決定することによって、ランガー橋において示した基礎式がつり橋の弾性理論による動的解析にそのまま適用できる。

$$A_g' = \frac{E_a}{E_g} \frac{l A_a}{l \left\{ 1 + 8 \left(\frac{f}{l} \right)^2 + 19.2 \left(\frac{f}{l} \right)^4 \right\} \left\{ 1 - \frac{E_a}{E_g} \right\}} + \{ l_1 \sec^3 \phi_1 + l_2 \sec^3 \phi_2 \} \dots \dots \dots (9)$$

つり橋の線形化したたわみ度理論では、式 (7)、(8) の ω_{gn} を ω_{gn}' に変え、 A_g を A_g' に変えるとよい。ここに

$$\omega_{gn}' = \omega_{gn} \sqrt{1 + \frac{H_0 l^2}{n^2 E I_{gn} \pi^2}}$$

H_0 : ケーブルにおける死荷重による水平力。

6. 数値計算

固有振動数と振動モードが決定できれば、走竹荷重によるレスポンスやその特別の場合として、静的たわみや静的曲げモーメントの影響線を求めることができる。

後者の解は静力的方法によって算定した影響線と比較すれば、補剛トラス単独の桁への換算の正しさ、ランガー桁・ローゼ桁・つり橋の動的解析の精度の吟味ができることになる。一例としてつり橋における比較を示せば、図-4の結果が得られた。

この論文では結合法について主として述べたが、新しくエネルギー法による解析理論も立てられた。それらはいはつり橋を除く形式の橋梁では新しい解であるか、あるいは従来のものとは多少相違する解が得られ、数値計算の結果は結合法のそれと一致した。しかし結合法による計算は容易である。

(1964.4.1・受付)

〔吉村：正会員 工博 熊本大学教授 工学部〕
〔平井：正会員 工修 熊本大学助教授 工学部〕

ガスクロマト グラフによる大気 汚染物測定に関する研究 —固定相担体の分解能について—

西田 耕之助

ガスクロマト グラフ法において分配カラムでの成分分離については溶質の分配係数を定義して理論的考察がなされている。しかしながら、現代溶液論に立脚して固定相および移動相の特性から成分の分離を正確に予知するには至っていない。すなわちもっとも有効なカラム充填剤（固定相）は主として試行錯誤的に選択されており、未知成分を多く含む試料の分析、たとえば都市の汚染空気の分析などにおいてはカラム充填剤の選択がすこぶる困難である。またし尿や下水の消化ガスの分析などにおいてはカラムに注入される試料量が比較的大きいためクロマトグラム上に現われる成分ピークの位置にずれを生じることもみられ、使用カラム充填剤によっては分析成績に差異を生じることも多い。それゆえ従来から多くの研究がなされているが分配カラムの固定相（固定相担体、固定相溶媒）および溶質の物理的、化学的特性による分離効果にたいする知見はきわめて少ない。今回、一般に広く使用されている市販のガスクロマトグラフ用固定相担体について若干の性状測定を行なうとともにおのおのの担体粒子による溶質の分離効果について検討を加えた。供試担体は Fire-brick C-22, Celite 408, Celite 545, Isolite N-2, Isolite N-4, Chromosorb P で、いずれも標準筋を用いて 10~200 mesh の粒度にクワイ分けした。本測定に使用した装置はコタキガスフロマト グラフ GD-2 型（検出器；熱伝導度型，検出器電流；80 mA，記録計；2 mV/250 mm full scale，チャート速度；1 cm/min，キャリアーガス；水素および窒素，流速；40~120 ml/min，カラム温度；70°C，分配カラム；

4 mm I.D.×1.5 m L.) で、標準物質にはアルコールおよび芳香族炭化水素のいずれも等量混合物を用いた。担体の性状測定は含水率、かさ比重、真比重ならびに空げき率、比表面、形態係数について行なった。担体粒子による溶質に対する分解能測定は分配カラムの充填剤としておのおのの担体粒子に 100:30(wt) の割合で Lauryl phthalate を担持させたものを用いて標準物質を分析したのちクロマトグラム上の近接ピークについて測定した。その結果を略述すればつぎのとおりである。

(1) 市販の各種担体は比較的高温度で処理されており水蒸気吸着能が大きく低下しているがなお 0.05~2.1%の含水率を示しており、ピークのテーリング防止や分離能低下を妨ぐためにカラム調製においては 200°C 以上で約 36 時間程度の処理を施す必要がある。

(2) 溶質の分離効率に大きな相互関係をもつと報じられている固定相担体のかさ比重値は担体粒子径の減少につれて増し、おおむね 0.3~0.6 を示す。クロマトグラム上の近接した二つのピークの分離の度合を示す分解能をおのおのの担体について測定した結果、担体粒子のかさ比重と分解能の間に相互関係を認めることはできない。すなわち図-1に示すとおり、かさ比重値 0.4 付近の Fire-brick C-22 の分解能はもっとも大きく、0.3 付近の Celite 545 と 0.6 付近の Celite 408 は大差がない。また、Fire-brick C-22 に Dimethyl-sulfolane を担持させたものはかさ比重 0.6 付近を示すが、分解能はさらに大きく、固定相担体と溶媒の効果が相加されたものとみられる。

(3) 珪藻土質担体粒子の比重はおおむね 2.0~2.5 を示す。また、担体粒子の空げき率は 70~80% と大きく粒子が多孔質のためである。さらに空げき率は粒子径の減少につれて低下しており担体の粒子形が球体に近づくとも表面の粗度が低下することによるものとみられる。

図-1 かさ比重による分能

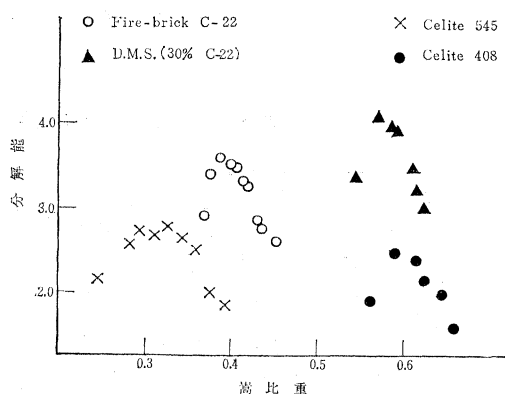
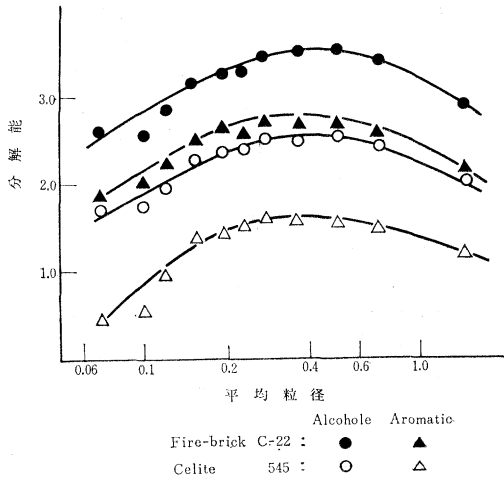


図-2 平均粒径による分解能



(4) 担体粒子の比表面積は平均粒径と反比例しその傾向は球形粒子の場合とほぼ同様である。また、担体粒子の比表面積の増加は気-液接触面積の増大を意味するにもかかわらず分解能値の増加をもたらさず両者に明らかな関係は認められない。しかしながら図-2に示すとおり担体粒度 30~40 mesh から 50~60 mesh においてはいずれも最も大きい分解能の値を示した。また図において平均粒径の減少につれて分解能の低下する傾向がみられるが、粒子径が小さくなるにつれてカラム内におけるキャリヤーガス流にたいする抵抗性が增大すること

によるものとみられる。

以上の測定成績から Fire-brick C-22 および Celite 545 はガスクロマト グラフ 分析において 比較的良好的な 固定相担体であり、 実用においては粒度 30~60 mesh の使用がもっとも有効であると認められた。

(1964.6.19・受付)

[筆者：正会員 京都大学助手 衛生工学教室]

新幹線標準ラーメン高架橋の設計

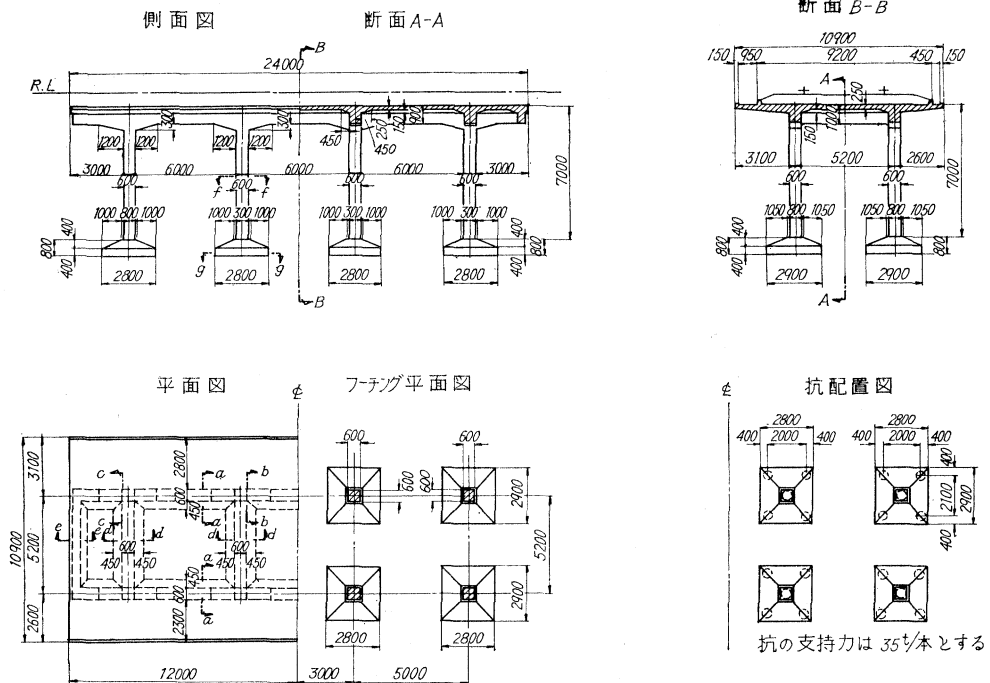
河野通之・松本嘉司

本論文は、国鉄東海道新幹線の鉄筋コンクリート標準ラーメン高架橋の設計において検討した事項について述べたものである。

1. 経済的なラーメン形式

張出しばり式ラーメン高架橋について荷重、許容応力度、高架橋の高さなど、同一の条件について同一の精度で i) 連続するスパン長の比, ii) 張出しばりの長さ, iii) はりと柱の剛度の比, iv) 連続するスパンの数, v) スパン長, などをかえて比較設計を行ない工費の比較を行なった結果と、標準化に対する適応性、外観、および施工性を考慮して図-1に示すラーメン高架橋を標準型として選定した。この標準高架橋に対してゲルバーはり

図-1 標準ラーメン高架橋



式、背割柱式、端柱ヒンジ式、変断面柱式、壁柱式などのラーメン高架橋、および単純ばりと単独橋脚を組み合わせた静定高架橋を比較設計し、工費の比較も行った。その結果は変断面柱式ラーメン高架橋は標準ラーメン高架橋との工費の差はほとんどないが、他のラーメン高架橋は 5~10%、静定高架橋は約 20% 工費が高くなっている。

2. 設計の標準化

前述の標準ラーメン高架橋のはりと柱の剛度の比は約 7 であるが、このようにはりと柱の剛度の比を大きくするとはりは柱頭部を支点とする連続ばりとして、柱は上下端を固定とする固定柱としておのおのを分離し設計することが可能となるので高架橋の標準化を容易にすることができた。すなわち標準型ラーメン高架橋におけるスラブ、および主ばりの標準設計は直線型、曲線型の 2 種とし、横ばり、および柱の標準設計は高さ 7.0 m, 8.5 m, 10.0 m, 12.0 m, 14.0 m のおのおの、直線型、曲線型を組み合わせる 10 種として、これらを組み合わせる必要の高架橋を構成することにした。またフーチングの標準設計は独立フーチングと連結フーチングの 2 種とし地盤に応じて適用することにした。

3. 部材の設計

はり是一般のラーメン理論から求めた曲げモーメント、せん断力に対して設計を行なったが、荷重分配、およびねじりモーメントについてもつぎのような実用公式を導いて設計を行なった。

単純支承の T 形 2 主桁の一つの桁の直上に作用した垂直荷重が、他の主桁に伝達される割合 α 、および一つの主桁に働くねじり荷重とその主桁のねじり抵抗との割合 β_1 とはそれぞれ近似的に式 (1)、(2) で求められる。

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + 6 \frac{I_a^2}{Jl^2} + 4 \frac{I_a^3}{I_s l^4}} \dots \dots \dots (1)$$

$$\beta_1 = \frac{1 + \frac{I_s l^2}{J a}}{1 + 2 \frac{I_s}{J} \cdot \frac{l^2}{a} + \frac{3}{4} \left(\frac{I_s l^2}{J a} \right)^2} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 I : 一主桁の曲げ断面二次モーメント、 J : 一主桁のねじり断面二次モーメント、 I_s : 中間スラブの単位長さ当りの断面二次モーメント、 a : 中間スラブのスパン (主桁中心線間距離)、 \bar{a} : 中間スラブの純スパン (主桁の内側面間距離)、 l : 主桁のスパン

この近似式によって標準ラーメン高架橋においては、i) 荷重分配は無視できること、ii) はりと単体的につくられたスラブの固定端モーメントはねじり荷重としてはりに作用すること、iii) スラブははりにおいて完全固定と考えてよいこと、が明らかとなった。

柱の剛性を小さくすると、ラーメン構造が経済的になり、また、その他の点においても有利となるが、高架橋の横剛性は低下してくる。標準ラーメン高架橋の横剛性は活荷重の遠心力にたいして柱頭部の水平変位が 1/4 cm 以下となるように定め、高さとも無関係に横剛性を一定とした。これより求めた高架橋の横方向の固有振動周期の計算値は、直線型で 0.45~0.50 秒、曲線型で 0.36~0.39 秒である。

4. 標準高架橋の計画

盛土、あるいは橋梁などの間の一定の区間を、全長 24 m の標準高架橋のみで計画することはできないから、3 スパンの標準高架橋のほか、2 スパン、4 スパン、および張出し部の 2 m のものを準標準高架橋として設計しこれらと標準高架橋とを組み合わせる所定の延長の高架橋の計画を行なった。

橋台、大型橋梁の橋脚等荷重状態の異なる構造物と接続する高架橋の縁端では、不等沈下などの悪影響をさけるため単純版を介して接続することにした。

(1964.4.8・受付)

〔河野：正会員 工博 国鉄構造物設計事務所長〕
〔松本：正会員 国鉄構造物設計事務所〕

地震と地盤に関する講習会

◀ 東京 3 月 26 日 (金)~27 日 (土)・大阪 3 月 25 日 (木)~26 日 (金) ▶

1. 主催：土質工学会本部・土質工学会関西支部
2. 会場：東京 赤坂公会堂 (東京都港区赤坂表町 3 の 37) 大阪 科学技術センター (大阪市西区靱公園内)
3. 会費：会員 500 円 (テキスト代 300 円含む) 非会員 600 円 (テキスト代 350 円含む)
4. 申込方法：はがきに氏名、勤務先、通信先、講習会費納入方法を記して土質工学会本部 (東京受講の場合) または関西支部 (大阪受講の場合) へお申込みください。詳細は土と基礎 84 号をごらんください。