

今月は論文集第 157 号 (43 年 9 月発行) 掲載論文として、つぎの 5 編を紹介しつゝ。今月紹介した論文に対する討議は 44 年 3 月 20 日まで受付けます。次号では、論文集第 158 号 (43 年 10 月発行) 掲載予定論文として下記の 5 編を紹介する予定です。

- 山崎徳也・石川信隆：円弧アーチの弾塑性解析
- 佐藤 亮典：井筒の振動に対する粘性の影響
- 住友 恒：都市における上水需要量の変動特性について
- 山田伴次郎：二次元圧密を考慮した二次元脱水による一次元圧密について (英文)
- 尾坂 芳夫：コンクリートの品質保証に関する基礎考察

外水圧を受ける埋設鉄管の設計ならびに外水圧軽減に関する理論的・実験的研究

長 島 敬

埋設鉄管、すなわち発電水力の領域にあっては、内張鉄管と呼ばれているものであるが、このような鉄管は岩盤の中に埋設されているという点で一般に用いられて来ている水圧鉄管とはきわめて異なる設計上の特色をもっている。とくにわが国においては、かかる形式の埋設鉄管は、第二次大戦後の地下発電所の建設の増加と相まって数多く採用されるようになり、また水圧鉄管のみならず、かぶりの浅いあるいは地質条件の悪い圧力トンネルにあっては、水密性の保持という観点から採用される場合が多くなって来ている。

埋設鉄管でない通常の水圧鉄管の設計は内圧のみを考慮すればよいのであるが、埋管鉄管は鉄管が岩盤内に埋設されているために、常に地山の地下水圧等がその周囲に作用している危険性があり、そのため水圧鉄管抜水時に外水圧によって、鉄管が圧潰するという事態が生じうるのである。したがってかかる形式の水圧鉄管の設計に対しては内水圧を受けた場合の検討のほか、抜水時に地山の地下水等の外水圧による圧潰の可能性についての検討をも同時に為さなければならない。内水圧を受けた場合にはその内水圧が一部岩盤に負担され、このときの内張鉄管の挙動については神月博士によって研究されたのであるが、著者はここに抜水時における埋設鉄管の圧潰について、理論的、また実験的に研究を行ない外水圧に対する設計の方針を樹立したものである。

(1967.12. 6・受付)

[筆者：正会員 新日本技術コンサルタント土木第 2 部長]

変断面部材をもつ直線骨組構造の解法

山崎徳也・樺木 武

1. 緒 言

断面二次モーメントの変化および剛域を考慮した骨組構造の解法には多くの研究があるが、それらの大部分は部材断面の変化と剛域の問題を別々の観点にたって処理しており、また断面変化も特定の関数で表わされているものに限定されている。さらに、用いられた関数は M. Hetényi (J. of Appl. Mech., Vol. 4, No. 2) を除いてはいずれも代数関数であり、したがって、平板との組み合わせが困難である。

以上に対し、本論文は任意垂直荷重が作用する場合について、剛域をも考慮した階段状変断面部材をもつ直線骨組構造の厳密解法ならびに任意形状変断面部材をもつ直線骨組構造の近似解法を提示し、かかる骨組構造の解法および変断面ばりとは板とで構成される構造物の解法に資せんとするものである。

2. 基本理論

図-1(a) に示すごとく、階段状に変化する断面二次モーメント I_i を標準断面二次モーメント I_0 との比を α_i とすれば、 i 区間の任意点 x におけるたわみ y と曲げモーメント M_x との関係は次式のごとく表わされる。

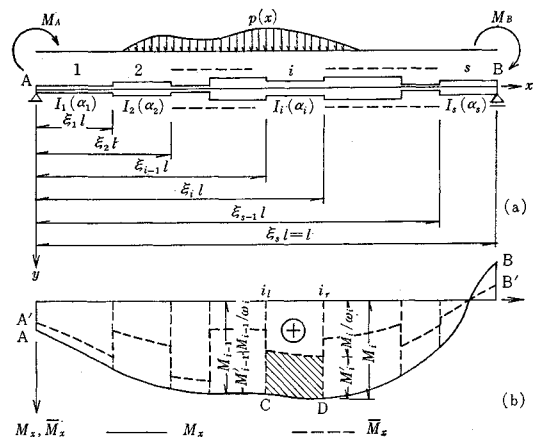
$$d^2y/dx^2 = -M_x/EI_i = -\bar{M}_x/EI_0$$

ここに、

$$\bar{M}_x = M_x/\alpha_i \dots\dots\dots (1)$$

すなわち、 \bar{M}_x (置換モーメント) を改めて i 区間の任意点 x における曲げモーメントを考えれば、式 (1) は断面二次モーメント I_0 なるはりに、曲げモーメント \bar{M}_x

図-1



が作用する場合の i 区間のたわみ y の解を与えている。他方、 M_u と \bar{M}_x とはその定義より図-1(b) の実線と点線とで示される関係となり、 i 区間に着目すれば \bar{M}_x -曲線 $C'D'$ は M_x -曲線 CD から斜線部 $CC'D'D$ を差引いたもので与えられる。したがって、斜線部 $CC'D'D$ を負の曲げモーメント図として与えるとき適当な荷重状態(補正荷重)を求めれば、図-1(a) の階段状変断面ばりを解くことは原荷重と補正荷重が同時に作用する断面二次モーメント I_0 の等断面ばり(置換ばり)を解く問題に帰着せられ、結局、任意点 x のたわみ y および接線角 τ がつぎのごとく算定されることとなる。

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{l^4}{EI_0 \pi^4} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{q_n}{n^4} \sin \frac{n\pi}{l} x \\ \tau &= \frac{l^3}{EI_0 \pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{q_n}{n^3} \cos \frac{n\pi}{l} x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、

$$\begin{aligned} q_n &= p_n + \sum_{i=1}^s \left(1 - \frac{1}{\alpha_i}\right) \sum_{m=1}^{\infty} p_m F(m, n, i) \\ &+ \frac{M_A}{l^2} H_{An} + \frac{M_B}{l^2} H_{Bn} \end{aligned}$$

3. たわみ角法

式(2)より、階段状変断面ばりのたわみ角式を誘導すれば次式のごとくえられる。

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} &= \kappa EK_0 \{D_{BB}\theta_A + D_{AB}\theta_B - (D_{BB} + D_{AB})R\} \\ &+ C_{AB} \\ M_{BA} &= \kappa EK_0 \{D_{BA}\theta_A + D_{AA}\theta_B - (D_{AB} + D_{AA})R\} \\ &+ C_{AB} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

式(3)における κ , D_{AA} , D_{BB} および $D_{AB}=D_{BA}$ は無限級数の形で示される形状定数であり、 C_{AB} , C_{BA} は部材の形状および荷重状態により定まる定数で、既往たわみ角式の荷重項に相当する。

4. 連続ばりの別解法

階段状変断面部材をもつ連続ばりは、たわみ角法によるほかに、著者が先に発表した“フーリエ級数による連続ばりおよびラーメンの解法”(九州大学工学集報第39巻第3号)を拡張応用することによっても解析可能で、不静定力たる中間支点力 R_j を求めるための基本連立方程式がつぎのごとく導かれる。

$$\sum_{j=1}^r R_j D_{kj} = \frac{l}{2} D_k + F \{a_k d_B + (1 - a_k) d_A - d_k\}$$

ここに、 $k: 1, 2, \dots, r$, r : 中間支点総数,
 $F = EI_0 \pi^4 / 2l^3$, D_{kj} : 形状定数, D_k : 荷重項,
 l : 連続ばりの全長, d_A, d_B, d_k : 両端 A, B および中間支点 k の垂直変位

5. 任意形状変断面部材をもつ骨組構造の近似解法

部材断面が任意形状に変化する場合、これを厳密に解くことは一般に不可能である。しかし、はりを適当に分割し、その区間の平均断面に関する断面二次モーメント(または、平均断面二次モーメント)を用うれば、階段状変断面部材に置き換えられることとなり、任意形状変断面部材の近似解をうることができる。

6. 結 語

本論文は、フーリエ級数を用いて階段状変断面部材をもつ骨組構造の厳密解法、および任意形状変断面部材をもつ骨組構造の近似解法を提示し、また、算例として既往理論による解との対比により本法の正当性を立証するとともに、かかる構造物の影響線解法をも網羅するものであるが、なお、本法はつぎのごとき特色をもつ。

(1) 剛域の問題は本法の一特例となり、したがって、既往研究のごとく、剛域の問題と断面変化の問題とを別々の観点からとらえる必要はなく、かかる構造物の解析をきわめて単純化する。

(2) フーリエ級数を用いた本法は、連続ばりと板との組合せ構造の解析に欠くべからざる基礎理論となる。

(1967.12.26・受付)

[山崎: 正会員 工博 九州大学教授 工学部]
 [榑木: 正会員 長崎大学助教授 工学部]

地下水位が浅い地盤への水路からの定常浸透における浸透流量と自由水面形

宇野 尚 雄

水路からの浸透による浸透流量と自由水面形の関係については、たとえば Kozeny は深い地下水位の地盤に対してその関係を明らかにしているし、Dachler は地盤の境界における水位を一定に保ったときの、浅い地下水位の場合を言明している。

本研究はそれらに対して、地下水の伏流がある地盤に対して、水路より上流側にある距離の地点に水理境界を設定して、その境界の水位を一定に保った場合と、その境界における地下水伏流流量を一定に保った場合を対比させながら、水路浸透にともなう自由水面形または自由水位の上昇量と浸透流量との関係を検討したものである。

水路からの浸透開始とともに、水路近傍の自由水面は上昇し始める。そしてある時間経過すると、もはや時間的に変化しない定常浸透状態に達する。本研究では、このときの自由水面が浸透流量の多少によって、浸透開始前の水面よりどの程度上昇するかという点を着目している。研究の結果えられたことを要約するとつぎのよう

図-1 水路浸透，流れ系 I

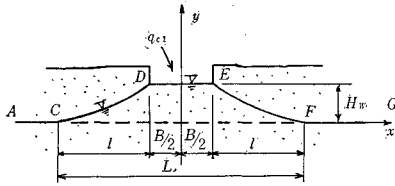
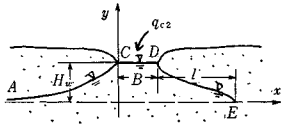


図-2 水路浸透，流れ系 II



ある。

A. 定水位の場合の水路浸透に対して

(1) 水路からの浸透流量は，地盤の透水係数に比例し，流れ系 I (図-1) に対して式 (1)，流れ系 II (図-2) に対して式 (2) により与えられるが，模型実験でも，それらの計算値はかなり妥当なものであることが認められた。

$$\frac{q_{c1}}{kH_W} = Z \cdot \frac{K}{K'} = \left\{ \frac{B}{H_W} - k^* \cdot \frac{L}{H_W} \right\} \frac{1}{1-k^*} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{q_{c2}}{kH_W} = \frac{K}{K'} = \frac{B}{H_W} - \left(\frac{k^*}{k'^*} \right)^2 \cdot \frac{l}{H_W} \dots\dots\dots (2)$$

ここに， q_{c1} ， q_{c2} はそれぞれ流れ系 I，II の水路浸透流量 ($\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$)， k は地盤の透水係数 (cm/sec)， H_W は水路水位から境界水位までの水位落差 (cm)， B は水路幅 (cm)， L は流れ系 I の地盤の長さ (cm)， l は流れ系 II の水路から一端までの距離 (cm)， K と K' は母数 k^* と補母数 k'^* の第 1 種完全だ円積分。

(2) 水路浸透による自由水面形は，理論的には流れ系 I に対して式 (3)，流れ系 II に対して式 (4)，式 (5) により表わされる。しかし室内実験で観測された自由水面形と上述の解析結果とは一致せず，水路浸透による自由水面の上昇量では計算値は観測値の約 1/2~1/3 程度になった。これは地盤の透水層の厚さ，水路内湛水深の有無や毛管帯の存在の有無など両者における条件の相違によるものと考えられた。

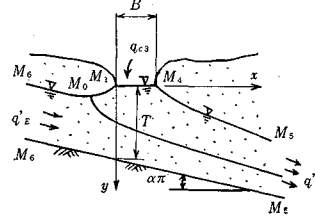
$$EF; \frac{x}{l} = \frac{KH_W}{K'l} + \frac{dn(K'y/H_W, k'^*)}{1-k^*} \dots\dots\dots (3)$$

$$AC; \frac{x}{l} = - \left(\frac{1}{k'^*} \right) \left\{ \frac{1}{sn^2(K'y/H_W, k'^*)} - 1 \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$DE; \frac{x}{l} = \frac{KH_W}{K'l} + \left(\frac{1}{k'^*} \right)^2 dn^2 \left\{ \frac{K'y}{H_W}, k'^* \right\} \dots\dots\dots (5)$$

ここに， sn と dn は Jacobi のだ円関数である。

図-3 水路浸透，流れ系 III ($q_{c3} \doteq q_c$ と仮定， q_c は図-4 参照)



(3) 自由水面の上昇量は水路浸透流量にほぼ正比例し，水路からの距離 x に関しては指数関数的に減少する分布である。

B. 定流量の場合の水路浸透に対して

(1) 定流量の場合の水路浸透流量は，流れ系 II と流れ系 III (図-3) の解析結果と実験的検討によって，式 (6) により与えられることを確かめた。

$$\frac{B}{H_W} - \left(\frac{k^*}{k'^*} \right)^2 \frac{l}{H_W} = \frac{K}{K'} = \sqrt{\frac{q_c}{kH_W} \cdot \frac{B}{H_W}} \dots\dots\dots (6)$$

ここに，

q_c は定流量の場合の水路浸透流量 ($\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$)

(2) 自由水面形の解析は困難であるけれども，水路浸透による水路より上流側の自由水面の上昇は水路下部に形成される“ウォーターカーテン”がせき上げ効果を示し，かなりの上昇量が認められた。

(3) 水路浸透による水路より上流側自由水面の上昇量 h は浸透流量にほぼ比例し，水路からの距離 x に無関係にほぼ一定値となる。その上昇量 h は実験的に求められた式 (7) で表わされる。

$$\frac{h}{H_W} = 0.8 \cdot \frac{q_c}{q_c + q_E} \dots\dots\dots (7)$$

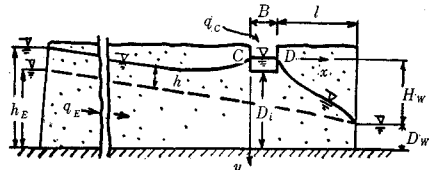
ここに， q_E は上流からの伏流流量 ($\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$) を意味する。

以上の事項は地盤が均質な砂層の場合にえられた結果である。

2 層地盤に対する水路浸透について (定水位の場合)

地盤の表層が低透水性の薄層であって，下層が高透水性である 2 層地盤系に対する水路浸透は，水路が表層を貫通して下層に直接通じているか否かによりかなり様子を異にする。水路が深く，下層まで届いている場合の自

図-4 実験における水路浸透の系



由水面の上昇の関係は、A(3)に述べた関係とほぼ同様である。水路が浅く表層にとどまっている場合には、低透水性表層のため水路近傍の自由水面こう配はきわめて急になる。すなわち、水路水位は浸透流量と水路近傍の透水性とに関連して決まるのに対して、水路からある距離はなれた地点の自由水位の上昇量は浸透流量のみによってきまる傾向にある。

(1967.12.2・受付)

[筆者：正会員 工修 岐阜大学講師]

鋼板の砂質土に対する摩擦および摩耗特性

皇 昭 治 郎 ・ 室 達 朗

建設機械の作業部分における掘削、積み込みおよび運搬の各作業のうち、とくに掘削作業における掘削刃の摩耗は激しく、そのために掘削能力が劣化するだけでなく、刃の交換や補修のため、か働率が低下する。このように掘削刃の摩耗に帰因して発生する諸問題は機械化施工による土工作の合理化における大きなネックとなっている。したがって、土砂による金属の摩耗機構について解明し、より合理的な摩耗対策をたてることができれば、掘削工具の設計・製作をはじめ、部品更新計画などの施工計画への応用に十分な意義と価値を有すると考えられる。

本文においては、土木作業中最も摩耗のはげしい固結砂質土について炭素鋼板との間の摩擦抵抗およびそれに起因して発生する金属の摩耗現象について、それらの機構を解明し、二、三の実験的考察を行なった。その結果を要約するとつぎのようになる。

(1) 金属と固結土粒子との間の接触面圧との摩擦抵抗との関係は、土粒子が金属板上を移動するとき土粒子は破碎されないと仮定すると、土粒子の形状および金属の硬度を種々に変えて行なった単粒子によるひっかき試験の結果から直接算定することができる。

その結果、摩擦抵抗はかなりの高面圧に対しても接触面圧の増加とともに直線的に増加するものであり、この直線性は接触面圧を 10 kg/cm² まで上げて行なった実験によっても実証された。しかし、実際の摩擦抵抗は土粒子の破碎による目づまりのためにひっかき試験で求めた値より低下する。すなわち、金属と固結土粒子との間の摩擦抵抗は、固結土粒子によって金属を切削する部分と破碎粒子と金属との間の摩擦の部分から成り立っており、その大きさは固結土粒子に対する荷重分担率の大きさによって変動するのである。

(2) 土粒子の形状は、上下対称な正四角錐からなる八面体であり、その八面体の基面はすべて金属板に平行

な同一平面上に相互に固結されているとする。さらに、土粒子の大きさは基面の大きさで表わすとし、金属板が固結した土粒子の上を移動するとき、土粒子は破碎されず目づまりを起こさないとする。このように仮定すると与えられた金属板の硬度 H_V に対して、土粒子が金属板上を移動するときの金属板への土粒子貫入量 α_i は、次式で計算することができる。

$$\alpha_i = \{k^2 N_i \sin \theta / 2 / 4 H_V \tan^2 \theta / 2\}^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、添字 i は個々の土粒子に対して命名したものであり、 N_i は i 番目の土粒子に対する垂直力である。 k は土粒子の金属板への貫入量について土粒子の移動時に対する静止時の比を示すものである。また、 θ は土粒子の頂角の平均対面角である。

金属の摩耗量 M は、ある大きさの粒径をもつ土粒子による切削疵はその粒子に後続するより大きな粒径の粒子による切削疵に包含されることを考慮に入れると、式(1)で表わされる α_i を用いて次式で与えられる。

$$M = K \rho \tan \theta' / 2 \left(n_1 \alpha_1^2 + \frac{3}{8} \sum_{i=2}^n n_i \alpha_i^2 \cdot \frac{\alpha_i}{\alpha_1} \right) \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 α_1 は最大粒径の土粒子による貫入量、 ρ は金属材料の密度、 θ' は切削疵の平均頂角である。また、 K は破碎粒子の目づまりによる固結土粒子に作用する荷重の減少、土粒子の破碎および結合力の消滅による摩耗痕跡の消失状態および摩耗痕からの金属の遊離率によってきまる定数である。

このように、土粒子の金属面への貫入量 α_i を媒介として、金属板と固結土粒子との間の接触面圧と金属の摩耗量との関係を算定することができる。その結果、金属の摩耗量 M_f は接触面圧 p の 0.84 乗に比例して増加することが判明した。また、この関係は金属の硬度や土粒子の粒度分布が変化した場合にも理論的に成立する。

(3) 一方、実験によって金属の摩耗量 M_a はいずれの場合にも接触面圧 p の 0.84 乗に比例して増加することが実証された。また、この場合の比例定数は、摩擦係数 μ_a から破碎粒子と金属との摩擦係数 μ_0 を差し引いた値 $(\mu_a - \mu_0)$ の 3.1 乗に比例することが判明した。すなわち、実験式として次式が成立する。

$$M_a = k' (\mu_a - \mu_0)^{3.1} p^{0.84} \dots \dots \dots (3)$$

なお、この関係は理論的に妥当であることを証明することができる。

(4) また、実際の摩耗量 M_a は目づまりのために固結土粒子に対する荷重分担率 f によって変化することを考慮すると、式(2)で $K=1$ として計算した理論摩耗量 M_f から、

$$M_a = K' f^{0.84} M_f \dots \dots \dots (4)$$

として算定できる。

(5) 金属のピッカース硬度が低下するとともに、固結土粒子に対する金属の摩耗量は放物線的に増加する。

以上、固結土粒子に対する鋼板の摩擦係数および摩耗量は、土粒子の破砕による目づまりに大きく左右されるために、実際の摩耗量を推定するには、摩擦係数を実測することによって荷重分担率 f を算定し、式(1)、(2)および(4)によって計算が可能であること、および直接実験式(3)が応用できることを示した。

(1968. 2. 2・受付)

【島：正会員 工博 京都大学教授 工学部】
【室：正会員 工修 京都大学助手 工学部】

低温液体貯蔵地下タンクに関する基礎的研究

—本体および土壌の冷却に伴う諸現象について—

秋田好雄・矢田敏夫・柳沢一郎

液体プロパン、液体メタンなどの低温の可燃性ガスを貯蔵するのに従来は地上タンクを用いてきたが、これらを地下タンクに貯蔵すると安全性と経済性においていくつかの利点があげられる。

著者らと共同研究者はわが国の立地条件に適合した地下タンクの実験を行なったが、本論文では地下タンクの本体および土壌の冷却にとまらうつぎの諸現象についてべる。

- (1) 本体の材料および凍結土の低温特性
- (2) 本体および土壌の温度分布、凍結深度
- (3) 本体の熱応力と徐冷速度の関係
- (4) タンク内部の液体の蒸発量
- (5) 凍上現象とその防止対策

(6) 凍結土圧

これらの研究からつぎの結論を得た。

(1) タンクの内張りに使う鋼材は液化プロパンのときは2.3~3.2mmの薄板の軟鋼、液体メタンのような超低温の液体のときは9%ニッケル鋼、アルミニウムおよびステンレス鋼が適当であろう。

(2) コンクリートには熱応力によるきれつは認められなかった。コンクリートおよび土壌は -100°C 位までは低温になるにしたがって強度の増すことがわかった。

(3) タンク本体および土壌の温度分布を求める理論式を導くことができ、これらの理論式は実験値と良く合うことが確認された。これらの理論式を使って徐冷速度が熱応力および蒸発量に与える影響を調べると、徐冷が完了するときに両者は最大値を示すことがわかった。

(4) 凍上に最も影響を与える因子は土質と地下水位である。とくにシルトは不整凍上を起こす。

また凍上と地下水位は直線的な関係にあることがわかった。凍上を防止するには熱影響部の土質を非凍上性の置換するか氷点降下剤を土壌中に散布させると良いことがわかった。

(1968. 2. 3・受付)

【秋田：工博 石川島播磨重工業研究所】
【矢田：工博 同上】
【柳沢：正会員 同上】

訂正：本誌7月号145ページ掲載の波田凱夫氏の論文に誤りがありましたので下記のように訂正するとともに著者にお詫びいたします。(事務局)

- 【誤】 曲線材の変形理論 (Theorie II. Ordnung) について (独文)
- 【正】 曲線材の変形理論と面外座屈問題への応用 (独文)

論文集への討議について

論文集編集委員会では、論文集に掲載した全論文に対しての討議を受付けておりますので、討議をされる方は下記事項をご参照のうえ論文集編集委員会へてご提出下さい。

記

1. 討議は論文集掲載全論文を対象とします。
2. 討議の受付は論文集掲載後6ヵ月以内とします。
3. 討議原稿を提出するときは学会原稿用紙に必要事項を記入のうえ論文集編集委員会へてご提出下さい。
4. 討議原稿の取扱いは論文編集委員会にご一任下さい。
5. 討議に関する問い合わせは論文集編集委員会へご連絡下さい。

人工軽量骨材コンクリート設計施工指針 (案)

内 容：1章 総則／2章 軽量骨材／3章 軽量骨材コンクリートの品質／4章 軽量骨材の取扱い／5章 配合／6章 練りませおよび運搬／7章 コンクリート打ちおよび養生／8章 試験／9章 設計に関する一般事項
付 録：1 骨材中に含まれる粘土塊量の試験方法／2 軽量粗骨材の浮粒率試験方法／3 構造用軽量細骨材の比重および吸水量試験方法 (案)／4 構造用軽量粗骨材の比重および吸水量試験方法 (案)

体 裁：B6判 53 ページ 定 価：300 円 会員特価：250 円 (〒50)

申 込 先：土木学会 東京都新宿区四谷一丁目