

**投稿論文** (和文ノート)  
**TECHNICAL  
NOTE**

# データ解析によるコンクリートの配合、強度および耐久性の推定方法に関する研究

豊福俊泰\*

著者は、「データ解析によるコンクリートの品質管理システム」を提案した。本文は、これを補足したものであり、配合設計における細骨材率、単位水量、スランプ、引張強度、曲げ強度、ヤング係数、耐久性指数および乾燥収縮の推定方法について、検討したものである。データ解析の結果、これらのコンクリートの品質に及ぼす影響要因を明らかにするとともに、それぞれの推定式を提案した。

**Keywords :** quality control, mix design, tensile strength, flexural strength, modulus of elasticity, durability factor, drying shrinkage

## 1. 序 論

著者は、データ解析によるコンクリートの品質管理システムを提言した<sup>1)~3)</sup>など、本システムは、コンクリートの配合設計または製造管理において、コンクリートを打ち込む前の材料、配合、製造条件が判明した段階（練りませ前または荷おろし箇所フレッシュコンクリートの段階）で、これらの管理試験データから細骨材率、単位水量および硬化コンクリートの強度、耐久性を推定・判別することによって、合理的なコンクリートの品質管理（以後、QCと呼ぶ）を図るものである。

本研究は、これを補足し、コンクリートの配合設計時に、細骨材率、単位水量、スランプ、引張強度、曲げ強度、ヤング係数、耐久性指数（耐凍害性）および乾燥収縮を推定する方法<sup>4)~10)</sup>をまとめたものである。圧縮強度の推定方法については、既報<sup>2)</sup>を参照されたい。

## 2. 解析方法

本研究で採用したコンクリートの品質推定のための特性要因は、表—1に示す品質管理試験項目である。解析データとしては、文献<sup>11)</sup>で信頼性が確認された日本道路公団（以後、公団と呼ぶ）の建設工事打設コンクリートの品質調査結果（調査Ⅱ。昭和57~58年度竣工工事のデータで、品質基準におおむね適合する骨材使用）およびコンクリート試験調査結果（調査Ⅰ。良質骨材から低品質骨材使用データを含む）とした。

演算方法は、単回帰分析および重回帰分析（変数増減法、分散比  $F_{IN}=F_{OUT}=2.0$ ）で行った<sup>2)</sup>。

## 3. 解析結果

解析結果は、以下で述べるとおりである。ここで、以後、各項目は表—1の記号で表すものとし、( ) 書きで負の相関、( ) なしで正の相関を表す。また、重回帰分析結果から多数の式を得たが、代表式を表—2に示す。

### (1) 細骨材率

細骨材率  $s/a$  は、「所要のワーカビリティが得られる範囲内で、単位水量  $W$  が最小になるよう、試験によって定めなければならない」ことが規定されている<sup>4)</sup>。これを定量的に推定するためには、影響要因を明確にする必要があるが、解析の結果、相関が強い項目は、 $(G_G)$ 、 $(G_{FM})$ 、 $(G_T)$ 、 $(G_M)$  で表される粗骨材の粒度・粒形要因および  $SL$ 、 $(C)$ 、 $(CO)$ 、 $(A)$  で表される配合条件であり、次に  $S_{FM}$ 、 $S_{0.15}$ 、 $S_A$  で表される細骨材の粒度、 $(C_{25})$ 、 $(C_F)$  で表されるセメントの品質である。

### (2) 単位水量

$W$  は、 $(G_G)$ 、 $(G_M)$ 、 $(G_{FM})$ 、 $(G_T)$  で表される粗骨材の粒度・粒形要因と相関が最も強く、次に  $(S_T)$ 、 $S_{0.15}$ 、 $(S_G)$ 、 $S_{FM}$  で表される細骨材の粒度・粒形要因、 $SL$ 、 $CO$ 、 $C$ 、 $(A)$  で表される配合条件、 $C_F$ 、 $C_{25}$  で表されるセメントの品質の順である。このように、一般には  $W$  に最も相関が強いのは  $SL$  と考えられがちであるが、骨材の粒度・粒形要因（特に、粗骨材の粒形と細骨材の細粒分量）の影響が大きいことが明らかである。

### (3) スランプ

スランプ  $SL$  は、 $W$  および  $s/a$  との相関が最も強く、次に  $G_G$ 、 $G_M$ 、 $(S_{0.15})$ 、 $(S_A)$ 、 $S_T$ 、 $(C_F)$  で表される骨材の粒度・粒形要因 [特に細骨材の細粒分量やセメントの粉末度]、 $A$ 、 $(CO)$  で表される配合要因の順であり、いずれも  $W$  および  $s/a$  との相関が認められる項目である。すなわち、コンクリートの製造管理では、骨材の表面水

\* 正会員 工博 日本道路公団福岡建設局八代工事事務所  
所長（元・同試験所コンクリート試験室室長）  
〒866 八代市本野町池端 662-1)

表一 変数とした項目および解析データ

Table with multiple columns: 区分 (Y, X1), 項目 (配合, 製造, 材料, 条件), 記号, 単位, 調査IIデータ (s/a, W, SL, f2a, f2a2, E2a, DF, DS2), 調査Iデータ (引張強度, 曲げ強度, ヤング係数, 耐久性指数, 乾燥収縮). Includes various material and process parameters.

注) Y: 目的変数とした項目, X1: 説明変数とした項目。試験方法は, J I S等の各試験方法による。s/a=(S/S0)/((S/S0)+(G/G0)), c/v=(C/C0)/(W+10A), Vm=SxS0/(100+S0)+GxG0/(100+G0), vr=W+va, Q=S0xS/(S+G)+G0xG/(S+G)

表二 重回帰分析結果の代表式

Table showing regression equations for various variables (s/a, W, SL, f2a, f2a2, E2a, DF, DS2) based on different sets of independent variables (X1). Each equation includes coefficients and statistical parameters like R, K, e, z.

注) 下段の( )内はt値。n: データ数 (個), p: 自由度, Four: 取り込まれなかった項目, R: 重回帰係数, K: 決定係数, e: 残差の標準偏差, z: z (実測値/計算値)の標準偏差, e, zの平均値, zは、それぞれいずれも0, 1.00

率, 粒度 (細骨材の細粒分量・5 mm 以上の過大粒量, 粗骨材の 5 mm 以下の過小粒量), 粒形等の変動管理 ( $W$  および  $s/a$  の変動管理) が,  $SL$  管理の重要なコントロールポイントである。

(4) 引張強度

引張強度 (材令 28 日)  $f_{t28}$  に対し相関性が強いのは,  $c/v$ , ( $W_T/C$ ),  $C$  [または  $\log C$ ],  $C/W_T$ , ( $W/C$ ),  $C/W$ , ( $A$ ), ( $SL$ ) で表される配合条件,  $C_F$ ,  $C_{C28}$  で表されるセメントの品質, ( $W_a$ ), ( $Q$ ), ( $G_Q$ ), ( $G_C$ ), ( $G_Y$ ), ( $G_U$ ),  $G_H$ , ( $S_Q$ ),  $S_H$ , ( $S_U$ ),  $S_T$  で表される骨材の材質要因の順である。これから, 圧縮強度  $f'_{c28}$  の場合<sup>2)</sup>と同様に  $C$  [または  $\log C$ ] との相関性が強く認められるのに対し,  $W$  との相関性は小さくなっており,  $C/W$  あるいは  $W/C$  のように 2 変数以上を表す項目のうち  $W$  の影響が少なく,  $f'_{c28}$  以上に骨材品質の影響を受けることが表されている。

(5) 曲げ強度

曲げ強度 (材令 28 日)  $f_{b28}$  に対し相関性が強いのは, ( $W_T/C$ ),  $c/v$ ,  $C/W_T$ ,  $C$  [または  $\log C$ ],  $C/W$ , ( $W/C$ ), ( $A$ ), ( $SL$ ) で表される配合条件,  $C_F$ ,  $C_{C28}$  で表されるセメントの品質, ( $W_a$ ), ( $Q$ ), ( $S_Q$ ), ( $G_Q$ ),  $S_H$ , ( $S_U$ ),  $G_H$ , ( $G_Y$ ), ( $G_U$ ) で表される骨材の材質要因の順である。これらの傾向から,  $C$  との相関性が強いのに対し,  $W$  との相関性が小さくなっており,  $C/W$  あるいは  $W/C$  のように 2 変数以上を表す項目のうち  $W$  の影響が少なく,  $f_{b28}$  以上に骨材品質の影響が大きくなっている。

(6) ヤング係数

ヤング係数 (材令 28 日)  $E_{28}$  との相関が強い項目は,  $f'_{c28}$ ,  $f_{t28}$ ,  $f_{b28}$  と異なっており, 骨材の吸収率から算出した  $W_a$  との相関が最も強く, ( $Q$ ), ( $G_Q$ ) [または ( $\log G_Q$ )], ( $S_Q$ ), ( $G_Y$ ), ( $S_U$ ), ( $G_U$ ),  $S_H$ ,  $G_H$ , ( $S_D$ ), ( $G_D$ ) で表される骨材の材質要因を表す項目が上位を占めている。同様に 1 項目で 2 変数以上を表す変数の項目としては, ( $W_T/C$ ),  $C/W_T$  のように骨材の吸水量が関連した項目との相関が強く, 次に ( $A$ ),  $C$  で表される配合条件,  $C_F$ , ( $C_H$ ),  $C_{C28}$  で表されるセメントの品質の順である。これらの傾向のうち,  $C$  との相関性が  $f'_{c28}$  と  $C$  との関係<sup>2)</sup>に比べると著しく低下している点が, 大きな特徴である。したがって,  $C/W$  あるいは  $W/C$  のように 2 変数以上を表す項目も, いずれも影響が少なくなっている。 $C$  との相関性の低下とは逆に, 骨材の品質の影響が  $f_{b28}$  以上に大きくなっており,  $Q$  の分布で比較すると, さらに相関性が良くなっている。

(7) 耐久性指数

耐久性指数 (300 サイクル)  $DF$  との相関が強い項目は,  $E_{28}$  より以上に骨材の材質に関する要因, 特に粗骨材の材質に関する要因で支配されており, ( $G_Q$ ) との相関が最も強く, ( $G_Y$ ),  $G_H$ , ( $G_U$ ),  $G_A$ ,  $G_T$  が上位を占めてい

る。次に, ( $Q$ ), ( $W_a$ ), ( $W_T$ ) のように細・粗骨材の吸水量が関連した項目との相関が強く, さらに, ( $S_Q$ ),  $S_H$ , ( $S_D$ ) で表される細骨材の材質に関する要因の順となっている。同様に 1 項目で 2 変数以上を表す変数の項目としては, ( $W_T/C$ ),  $C/W_T$  との相関が強く, 配合条件としては ( $SL$ ) のみが認められ, セメントの品質との相関は小さくなっている。特に, 強度と  $C$  との関係に比べると,  $C$  との相関性が著しく低下している点が大いなる特徴であり,  $C/W$  あるいは  $W/C$  のように 2 変数以上を表す項目も, いずれも影響が少なくなっている。

(8) 乾燥収縮

乾燥収縮 (材令 52 週)  $DS_{52}$  との相関が強い項目は, ( $G_Q$ ), ( $G_{FM}$ ), ( $G_T$ ), ( $G_M$ ) で表される粗骨材の粒度・粒形要因,  $W$ ,  $W/C$ , ( $C/W$ ), ( $c/v$ ),  $W_T/C$  のように  $W$  が含まれる項目である。このように, 前述の  $f'_{c28} \sim DF$  とは影響要因が異なり,  $W$  の関係のみがきわめて強いのが特徴である。

(9) 圧縮強度, 引張強度, 曲げ強度, ヤング係数, 耐久性指数, 乾燥収縮の相互の関係

以上の解析結果から, 一般に硬化コンクリートの品質を代表的に表すとされている  $f'_{c28}$ ,  $f_{t28}$ ,  $f_{b28}$ ,  $E_{28}$ ,  $DF$ ,  $DS_{52}$  の相互の関係を, 相関の強い順に列記すると次のとおりである。

$$f'_{c28} : \underline{f_{t28}}, \underline{f_{b28}}, \underline{E_{28}}, (DS_{52}), DF$$

$$f_{t28} : \underline{f'_{c28}}, \underline{f_{b28}}, \underline{E_{28}}, (DS_{52}), DF$$

$$f_{b28} : \underline{f_{t28}}, \underline{f'_{c28}}, \underline{E_{28}}, DF, (DS_{52})$$

$$E_{28} : \underline{f'_{c28}}, \underline{f_{t28}}, \underline{f_{b28}}, DF, (DS_{52})$$

$$DF : \underline{E_{28}}, \underline{f_{b28}}, \underline{f'_{c28}}, \underline{f_{t28}}, (DS_{52})$$

$$DS_{52} : \underline{(f'_{c28})}, \underline{(f_{t28})}, \underline{(f_{b28})}, (E_{28}), DF$$

ここで, 下線部は危険率 0.1 % 以上で有意な項目を示す。

さらに, 材令の影響を取り除くため, 材令 3, 7, 28, 91 日に対応する圧縮強度, 引張強度, 曲げ強度, ヤング係数, 乾燥収縮 (乾燥開始時からの材令とする) の相互の関係の解析結果も, 同様の相関性がある。

以上から,  $f'_{c28}$  との相関が強い順は,  $f_{t28}$ ,  $f_{b28}$ ,  $E_{28}$ ,  $DS_{52}$ ,  $DF$  であり, 後者になるほど骨材品質の影響が強く,  $C$  の影響が小さくなることが示されている。

(10) 推定式

QC に用いるコンクリート品質の推定式としては, できるだけ少ない管理項目で精度が良いことが望まれる。このため,  $f_{t28}$ ,  $f_{b28}$  の推定式には  $\log C$ ,  $E_{28}$  の推定式には  $\log G_Q$  を採用し, 精度を向上させた (表-2 参照)。

4. 結 論

本研究により得られた結果は, 次のとおりである。

- (1) 土木用の一般的なコンクリート ( $f'_{c28} = 180 \sim 600 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $W/C = 35 \sim 75 \%$ ,  $SL = 2 \sim 20 \text{ cm}$ ,  $A =$

3.0～6.0%， $G_M=20\cdot25$ および40 mm)の細骨材率  $s/a$  (%), 単位水量  $W$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), スランプ  $SL$  (cm), 引張強度  $f_{t28}$  ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ , 材令28日), 曲げ強度  $f_{b28}$  ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ , 材令28日), ヤング係数  $E_{28}$  ( $\times 10^5 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ , 材令28日), 耐久性指数  $DF$  (%), 300サイクル)および乾燥収縮  $DS_{52}$  ( $\times 10^{-5}$ , 材令52週)の説明変数として相関が良い項目は、次に示すとおりである。

$s/a$  : ( $G_G$ ), ( $G_M$ ),  $SL$ ,  $S_{FM}$ ,  $S_{0.15}$ , ( $C$ ),  $CO$ , ( $C_F$ )

$W$  : ( $G_G$ ), ( $G_M$ ),  $SL$ , ( $S_T$ ),  $S_{0.15}$ ,  $S_A$ ,  $C_F$ ,  $C$ , ( $A$ ),  $CO$

$SL$  :  $W$ ,  $s/a$ ,  $G_G$ ,  $G_M$ ,  $S_T$ , ( $S_{0.15}$ ), ( $S_A$ ), ( $C_F$ ),  $A$ , ( $CO$ )

$f_{t28}$  :  $c/v$ ,  $C/W$ ,  $C/W_T$ , ( $W/C$ ), ( $W_T/C$ ),  $C$  [または  $\log C$ ], ( $Q$ ), ( $A$ ), ( $S_Q$ ), ( $G_Q$ ), ( $G_G$ ),  $S_T$ , ( $W$ ), ( $CO$ ), ( $SL$ )

$f_{b28}$  : ( $W_T/C$ ),  $C/W_T$ ,  $c/v$ , ( $W/C$ ),  $C/W$ ,  $C$  [または  $\log C$ ], ( $W_a$ ), ( $Q$ ), ( $A$ ), ( $W$ ), ( $G_M$ ), ( $S_Q$ ), ( $G_Q$ ), ( $G_Y$ )

$E_{28}$  : ( $W_a$ ), ( $Q$ ) [または  $\log G_Q$ ], ( $G_Q$ ), ( $W_T/C$ ),  $C/W_T$ , ( $S_Q$ ),  $c/v$ , ( $G_Y$ ), ( $W/C$ ),  $C/W$ ,  $C$ , ( $A$ ), ( $W_T$ ), ( $G_A$ ), ( $S_{0.15}$ )

$DF$  : ( $G_Q$ ), ( $G_Y$ ), ( $Q$ ), ( $S_Q$ ), ( $G_M$ ), ( $S_G$ ), ( $SL$ ),  $G_A$ ,  $S_{FM}$

$DS_{52}$  : ( $G_Q$ ),  $W$ , ( $G_{FM}$ ),  $W/C$ ,  $C/W$ ,  $W_T/C$ , ( $C/W_T$ ), ( $G_M$ ),  $S_A$ ,  $S_{0.15}$ , ( $c/v$ ), ( $C$ ),  $A$

(2) これらの品質の推定方法として、多変数一次式で表す重回帰式は、簡便でかつ精度が良い関係式として実用できる。精度を向上させるには、説明変数として(1)の項目の中から変域の大きい項目を採用すれば良い。推定式の代表例として、表-2の式(1)～(11)を示した。

(3) 圧縮強度との相関が強い順は、引張強度、曲げ強度、ヤング係数、乾燥収縮、耐久性指数であり、後者になるほど骨材品質の影響が強くなり、単位セメント量の影響が小さくなる。すなわち、単位セメント量との相関はこの順で強く、単位水量との相関は、乾燥収縮、圧縮強度、曲げ強度、引張強度、ヤング係数の順で強い。

なお、本論文は、著書が昭和63年6月付で東京大学より工学博士の学位を受けた学位論文<sup>1)</sup>の内容の一部で

ある。

謝辞：本研究にあたり、東京大学 小林一輔名誉教授のご懇切なるご指導を賜りました。ここに、深甚なる感謝の意を表します。また、公団本社技術部、試験所、全国10建設局試験課の方々の多大なるご協力を頂きました。ここに、慎んで厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 豊福俊泰：データ解析によるコンクリートの品質管理システムに関する研究，東京大学学位論文，1988年1月。
- 2) 豊福俊泰：データ解析によるコンクリートの圧縮強度の推定方法に関する研究，土木学会論文集，第420号/V-13，pp.125～134，1990年8月。
- 3) 豊福俊泰：データ解析によるコンクリートの品質管理システムに関する研究，土木学会論文集，第426号/V-14，pp.55～64，1991年2月。
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書・施工編，1986年10月。
- 5) 赤沢常雄：コンクリートの細骨材率ならびに単位水量を求むる実験式に関する研究，コンクリート・ジャーナル，Vol.11，No.3，pp.1～12，1973年3月。
- 6) 阿部道彦・後藤知以・長島 弘：電算機による生コンクリートの品質管理のための配合設計法，コンクリート工学，Vol.20，No.10，pp.18～26，1982年10月。
- 7) 沼田晋一：参考配合表の数式化による試し練りの合理化—米国コンクリートマニュアル等を中心として—，土木学会第41回年次学術講演会講演概要集第5部，pp.511～512，1986年11月。
- 8) Halabi, A.K. : Experimental planned research on Concrete tensile strength, *Revue des Matériaux*, No.561, 1962.1.
- 9) Hansen, T.C. : Influence of aggregate and voids on the modulus of elasticity of concrete, cement mortar and cement paste, *Journal of ACI*, Vol.62, No.2, 1965.
- 10) Bazant, Z.P. and Panula, L. : Practical Prediction of Time-dependent Deformations of Concrete, *Structural Engineering Report*, No.78-3/640S, 1978.
- 11) 豊福俊泰：データ解析によるコンクリートの品質変化とその要因に関する研究，土木学会論文集，第408号/V-11，pp.147～156，1989年8月。

(1990.10.23 受付)

## STUDIES ON ESTIMATING METHOD OF MIX PROPORTIONS, STRENGTHS AND DURABILITIES BASED ON DATA ANALYSES

Toshiyasu TOYOFUKU

The author had suggested "the Quality Control Systems of Concrete by Data Analysis". This paper supplements that study and describes the estimating methods of sand-aggregate ratio, unit water content, slump, tensile strength, flexural strength, modulus of elasticity, durability factor and drying shrinkage in the case of mix design. As a result of data analyses, the relations between these qualities of concrete and influential factors were clarified. And the estimation equations of these qualities were suggested.

# 内容紹介

# 土木学会論文集 内容紹介

No. 426/V-14, 1991.2

## 緩衝砂を有する RC 版の耐落下物衝撃性能と落石覆工の動的設計法

本名一夫・今野久志・太田利隆

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.37~44, 1991.2

落石に対する RC 覆工の耐荷力を究明し、合理的な設計法を提案するため、緩衝砂を有する RC 版への重錘落下実験を行い、静的載荷時との挙動の違いを調べた。その結果、衝撃力載荷時の降伏耐力は、衝撃力と RC 版応答のタイムラグや鉄筋降伏点の上昇等により、静的載荷時を大きく上回ることがわかった。さらに、FEM による理論解析および実際の落石覆工を対象としたシミュレーションを行い、最後に落石覆工に対する動的設計法を提案した。

## 路床改良層をもつ舗装の構造評価

轟 幸雄・萩原久吉・三浦裕二

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.45~53, 1991.2

残土発生の抑制、ならびに路床土を安定処理し、舗装厚を軽減するという観点から、路床改良層をもつ試験舗装を設け、追跡調査を行った。試験舗装の断面は改良厚さと安定材の種類が異なる 8 断面であり、調査の内容はたわみと曲率半径による 2 層構造評価であり、3 年余り継続して調査した。期間中 2 回舗装を解体し、改良層の CBR 試験等を行った。この論文は調査の結果をもとに、改良層の力学特性を中心に検討したものである。

## データ解析によるコンクリートの品質管理システムに関する研究

豊福俊泰

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.55~64, 1991.2

コンクリートの品質管理は、一般に荷おろし箇所で採取した供試体の材令 28 日における圧縮強度試験結果によって行われてきたが、できるだけ速やかにコンクリートの品質を判定し、その結果を製造や施工に反映させることが重要である。この観点から、データ解析によるコンクリートの品質管理システムが提案された。このシステムでは、圧縮強度およびその他のコンクリートの品質等、使用材料の試験値、計量記録値、フレッシュコンクリートの性質等の管理データを用いて推定式により計算する方法で、コンクリートの品質推定が行われる。コンクリートの配合設計および製造管理において、この方法は効率的に適用され、硬化コンクリートの試験が不要である。

## 鉄筋腐食により損傷を受けた RC 床版の押抜きせん断耐力に関する一考察

橋 吉宏・梶川康男・川村満紀

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.65~74, 1991.2

本文は、腐食損傷を受けた RC 床版の押抜きせん断耐力について、実験ならびに解析的手法を用いて検討した結果を報告するものである。実験では腐食 RC 床版は耐力低下を生じ、その原因は、引張側の鉄筋位置に生じた水平面状の腐食膨張ひびわれが RC 床版の耐荷機構に変化をもたらすためであることを示し、FEM による解析も用いてその耐荷機構の解明を行った。また、腐食 RC 床版の押抜きせん断耐力の一算定法についても示した。

## 補修した鉄筋コンクリートはりの AE 特性

長瀧重義・岡本享久・曾我寿孝・湯山茂徳

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.75~80, 1991.2

本研究は劣化した部分をはつとり、この部分に補修材を充填する補修方法を適用した RC 部材を対象にして、補修後新たに発生する曲げひびわれ、せん断ひびわれおよび補修材と旧コンクリートの接合面のひびわれ、剝離についてこの種の欠陥の発生、位置および進展状況、さらにはこれらの欠陥の識別を AE 計測によって評価した。

## 粗骨材中のモンモリロナイトがコンクリートの諸性質に及ぼす影響

迫田恵三・丸 章夫・伊藤利治

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.81~90, 1991.2

本研究は粗骨材に含まれる粘土鉱物の一種であるモンモリロナイトがコンクリートの性質に与える影響について検討を行ったものである。モンモリロナイトの含有量の異なる粗骨材を 10 種類用い、標準養生、屋外暴露、高温加熱、および凍結融解等各種の環境下でのモンモリロナイト含有骨材コンクリートの諸性質を明らかにした。

その結果、モンモリロナイトはコンクリートの諸性質に大きく影響することがわかった。

## ASR を生じたコンクリートの圧縮強度性状に関する 2, 3 の考察

小林一輔・白木亮司・森 弥広

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.91~100, 1991.2

アルカリシリカ反応によるコンクリートの圧縮強度低下のかなりの部分はセメント中の高いアルカリ分の影響によるものであること、反応の進行に伴う圧縮強度の変化は用いた反応性岩石の種類によって異なること、反応による膨張が 0.2% 程度に達するとコンクリートの強度低下の割合が小さくなること、などを明らかにした。最後の現象に関しては、コンクリートの組織が全体として非晶質部分が卓越した状態で均質化され、化学的にも力学的にも安定するためと考察した。

## 円形走行試験におけるアスファルト舗装の挙動とその解析

西 勝・河端 薫・飯田幸男

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.101~110, 1991.2

水硬性粒度調整鉄鋼スラグの路盤材としての評価を短期間に行うべく、円形走行試験路で実車試験を実施した。破壊に至る舗装挙動を観測し、相対的な供用性を評価した結果、その等価換算係数は、0.55以上であると実証した。

また、観測結果を汎用化するために室内実験結果を基本とした解析法（構造解析法、その結果に基づく疲労解析法およびわだち掘れ解析法）を提案し、観測結果に基づいて、それらの適用性を検証し妥当性を確かめた。

## 歩道舗装材の弾性測定法に関する研究—生体振動解析法について—

牧 恒雄

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.141~150, 1991.2

歩道舗装材の弾性を測定する方法として物理的な測定法にかわって、使用する靴や人体の持つ緩衝作用を取り込んだ解析法として、人体が受けた衝撃波形を直接解析し、舗装の弾性を測定する生体振動解析法を開発した。そして各種歩道舗装材について測定した結果を報告した。

## せん断補強筋を有する鉄筋コンクリートばりのせん断耐力評価に関する解析的研究

鈴木基行・姜 錫和・尾坂芳夫

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.111~120, 1991.2

本研究はせん断補強筋を有する鉄筋コンクリートばりのせん断耐力および斜めひびわれの角度をエネルギー原理に基づいた終局つり合い法によって、解析的に評価する手法を提案することを目的としている。本理論では、終局状態における破壊面での力およびモーメントのつり合い条件から終局せん断耐力を求めており、ひびわれ面でのひずみの適合条件から部材の破壊モードを予測することが可能である。また、終局状態での曲げモーメントとせん断力の相関関係を提案した。

## 確率特性を考慮したコンクリート舗装版の曲げ疲労設計曲線

小梁川雅・米谷 裕・福田 正

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.151~157, 1991.2

本論文では、舗装用コンクリートの静的曲げ強度が曲げ疲労破壊に与える影響と、さらに破壊確率を考慮した疲労曲線に関する研究を行った。

コンクリートの曲げ疲労現象のばらつきがコンクリート版の疲労破壊に与える影響を、モンテカルロシミュレーションにより検討した結果、コンクリートの曲げ疲労曲線の破壊確率と、疲労強度のばらつきに起因するコンクリート舗装の疲労寿命に対する信頼性の関係が得られた。

## セメント系材料の曲げ強度に及ぼす不均一な乾燥収縮応力の影響

宮沢伸吾・田澤栄一

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.121~129, 1991.2

コンクリートの乾燥収縮により生じる自己応力はひずみの測定値とは対応しないため、従来、実測が困難であった。本研究では、モルタルやコンクリート供試体の乾燥収縮応力の測定に応力解放法を適用し、その有効性を示した。また、乾燥収縮応力の実測値と曲げ強度試験結果から、引張縁における乾燥収縮応力に対する引張強度の比が同一でも曲げ強度の低下率は $W/C$ が低いほど大きく、したがって曲げ破壊条件を求める際、従来の最大応力説による検討のみでは不十分であることを明らかにした。

## 軸方向鉄筋のダウエル作用に及ぼす引張力の影響に関する実験的研究

鈴木基行・中村泰介・堀内 信・尾坂芳夫

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.159~166, 1991.2

本研究は、軸方向鉄筋のダウエル作用に及ぼす引張力およびかぶりの影響を実験的に検討したものである。鉄筋に所定の引張力とダウエル力とを同時に作用させて、破壊形態、荷重-変位関係、耐力および鉄筋に生じるひずみを詳細に調べた。その結果、かぶりを大きくするとダウエル耐力は増加すること、引張力を増加させるとダウエル耐力は指数関数的に減少すること、およびダウエル作用は鉄筋のものよりもコンクリートの諸特性に大きく依存していることなどの結論を得た。

## 実規模供試体による温度応力抑制工法の実証実験

横田季彦・竹下治之

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.131~140, 1991.2

新旧コンクリートの打継部に遅延コンクリートを打設することによって、壁部コンクリートに発生する外部拘束ひびわれを防止する温度応力抑制工法の効果を実証する目的で、長さ20mの実規模供試体を2体作製して比較検討実験を行った。

この結果、本抑制工法を適用することにより、発生応力、拘束度およびコンクリートの温度勾配を低減でき、コンクリート打設初期のひびわれ発生を防止できることが確認できた。

## 温度依存性を有するセメントの水和発熱過程と熱伝導との連成を考慮した非線形温度解析

原田修輔・前川宏一・辻 幸和・岡村 甫

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.167~176, 1991.2

本論文は、温度依存性を有するセメントの水和発熱過程と熱伝導との連成を考慮した非線形温度解析方法を提示し、この温度解析方法と従来の断熱温度上昇曲線に基づく温度解析方法による解析結果との差異について検討したものである。本論文で提案した非線形温度解析方法は、比較的薄い壁状構造物の場合に従来の解析方法とかなり異なった結果を示すこと、および構造物の各部位で異なる水和発熱過程を忠実に表現できることが明らかとなった。



## コンクリート舗装版のひびわれ度遷移のモデル化

J. R. MONTAÑO M.・武山 泰・福田 正

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.177~182, 1991.2

コンクリート舗装は、ひびわれ発生後においても交通供用が可能であるが、その挙動は十分に解明されていない。本研究は、東北地方の国道において実施されたコンクリート舗装の路面性状調査データをもとに、コンクリート版のひびわれ度の遷移モデルを構築したものである。すなわち、本研究では、ひびわれ度の経年的な遷移特性に着目することにより、ひびわれ度の年間増加量の累積分布を2重指数分布関数で表現し、コンクリート舗装のひびわれ寿命の信頼性を評価する手法を開発した。

## コンクリートの毛管浸透試験方法に関する研究

越川茂雄・萩原能男

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.183~191, 1991.2

本研究は、コンクリートの毛管浸透試験方法の確立を目的として、水の吸上がり現象を取り上げ、まず、コンクリート中の毛管流れを解析的に検討し、コンクリートの水密性を評価するための物性値を明らかにし、これを簡便に求める方法を提示した。次に、試験方法の詳細を確定するために、供試体における水の浸透高さの測定方法および測定期間等種々のことについて検討し、標準的な試験方法(案)を提示した。さらに、この方法によって得られた毛管浸透性および試験値の信頼度を他の透水試験方法の場合と比較して論じている。

## 曲げ・せん断および軸力を受けるRC部材の耐力間の相関関係に関する解析的研究

鈴木基行・姜 錫和・尾坂芳夫

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.193~202, 1991.2

本研究は曲げ、せん断および軸力を同時に受けるRC部材のせん断耐力および斜めひびわれの角度をエネルギー原理に基づいた終局つり合い法によって、解析的に評価する手法を提案することを目的としている。本理論は、終局せん断耐力ばかりでなく、破壊モードを予測することが可能である。また、曲げ耐力、せん断耐力、および軸方向耐力間の相関関係を解析的に評価するとともに、本理論に基づき設計上の考察も加えた。

## 曲げ試験に基づく引張軟化曲線の推定と計測

内田裕市・六郷恵哲・小柳 洽

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.203~212, 1991.2

曲げ試験からコンクリートの引張軟化曲線を求める方法としてすでに提案されているJ積分法および新J積分法について検討し、さらに改良した修正J積分法を提案した。修正J積分法の特徴は、試験が比較的簡便でありながら、精度よく引張軟化曲線を推定できることである。高強度コンクリート、軽量コンクリートおよび普通強度コンクリートについて同方法の有効性を確認した。

## 砂詰め人工芝の衝撃緩和特性に関する検討

牧 恒雄・天野景敏・尾本志展・玉置壽照

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.213~220, 1991.2

運動施設などで最近多く用いられている砂詰め人工芝について、表層材の厚さ、中間層や基盤層に用いる材質等を変化させた18種類の試験区を作成し、人体が受ける衝撃について生体振動解析法を用いて解析し、天然芝に近い性状を示す舗装構造の検討を行った。

## 曲り管中の高濃度固液2相流れにおける固体相の変形適合条件(英文)

Anura NANAYAKKARA・小沢一雅・前川宏一

土木学会論文集 第426号/V-14, pp.221~232, 1991.2

本研究は、ベント管を流れるコンクリート中の骨材相の変形適合条件について明らかにしたものである。コンクリートを多相系材料としてとらえ、ポンプ圧送抵抗の一次元解析を行うためには、骨材相の変形適合条件を確立することが必要不可欠である。可視化実験を用いて、定常流れにおけるベント部の骨材相の動きを明らかにし、さらに、断面平均した骨材相のひずみ速度の偏差不変量と断面平均流速、ベント管の曲率の関係を理論的に導き、単純な形の一次元変形適合条件を提案したものである。

# 世界標準のソフトウェア

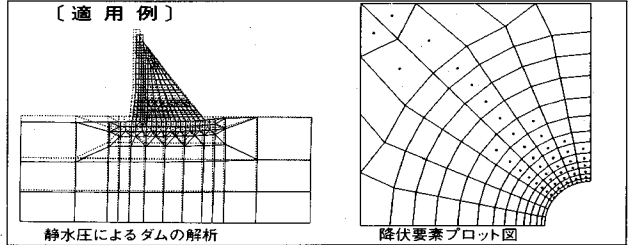
## Mr. SOIL

### Version-2.5

■豊富な機能

- ・弾性及び弾塑性解析が可能。
- ・編削・盛土機能により、施工ステップにしたがった解析が可能。
- ・荷重の段階的載荷が可能
- ・側圧係数の指定が可能\*
- ・充実したグラフィック機能
- ・変位ベクトル図\*、変位コンター図\*
- ・応力ベクトル図、応力コンター図
- ・構・梁要素断面力図\*
- ・降伏要素プロット図\*

\*はV.2.5による追加機能



■お求めやすい価格設定

パソコン版(PC-9801シリーズ)……64万円(税別)

EWS版(NEWS, SUN, HP, VAX など)……220万円(税別)

■実績が示す高信頼性(使用実績187本 平成2年度8月末現在)

(株)アースコンサルタント  
 アイドールエンジニアリング(株)  
 (株)葵エンジニアリング  
 (株)荒谷建設コンサルタント  
 石川工業高等専門学校  
 (株)ウエスコ  
 上山試錐工業(株)  
 運輸省港湾技術研究所  
 (株)エイトコンサルタント  
 (株)N T T 鈴鹿電気学局  
 (株)オリエンタルコンサルタンツ  
 (株)応用地学研究所  
 大阪大学  
 大阪市交通局  
 大阪市立工業研究所  
 (財)大阪土質試験所  
 大阪府立工業高等専門学校  
 大阪府立大学  
 岡山大学  
 岡山大学  
 (株)奥村組 技術研究所  
 奥村組土木興業(株)  
 小田急建設(株)  
 小野田ケミコ(株)  
 小野田ケミコ(株)  
 鹿児島大学  
 梶谷エンジニア(株)  
 鹿島建設(株)  
 金沢大学  
 金沢大学  
 川崎地質(株)  
 関西電力(株)  
 岩水開発(株)  
 関西航測(株)  
 (株)基礎建設コンサルタント  
 関西大学  
 九州共立大学  
 九州産業大学  
 九州産業大学  
 九州産業大学  
 九州大学  
 九州電技開発(株)  
 京都市立伏見工業高等学校  
 京都大学  
 京都大学  
 協和電設(株)  
 近畿実測(株)

近畿大学  
 近畿大学  
 近畿大学  
 岐阜工業高等専門学校  
 久保田建設(株)  
 (株)熊谷組  
 (株)熊谷組  
 (株)建設企画コンサルタント  
 (株)建設工学研究所  
 神戸大学  
 神戸大学  
 神戸大学  
 神戸大学  
 興亜開発(株)  
 佐賀大学  
 佐伯建設工業(株)  
 佐田建設(株)  
 佐藤工業(株)  
 佐藤工業(株)  
 サンコーコンサルタント(株)  
 滋賀県立短期大学  
 (株)CIT構造技術研究所  
 島根大学  
 昭和地質情報リサーチ(株)  
 (株)新日本技術コンサルタント  
 新日本製鉄(株)  
 新技術計画(株) 技術設計部  
 J R 西日本コンサルタンツ(株)  
 (株)住化土建建設  
 (株)住友建設(株)  
 住友建設(株)  
 (株)西播設計  
 (株)ソイルプレーン  
 促進工業(株)  
 (株)第一コンサルタンツ  
 大成建設(株)  
 大成基礎設計(株)  
 大豊建設(株)  
 大豊建設(株)  
 (株)ダイヤコンサルタント  
 (株)ダイヤコンサルタント  
 (株)高千穂設計コンサルタント  
 (株)タカラエンジニアリング  
 玉竹中工務店  
 玉野総合コンサルタント(株)  
 (株)地崎工業  
 (株)地盤調査事務所  
 (株)中央設計技術研究所  
 中央復建コンサルタンツ(株)

中国電力(株)  
 中部工務(株)  
 中部電力(株)  
 通信土木コンサルタント(株)  
 (株)テクノックス  
 東海大学  
 (株)東京建設コンサルタント  
 東京大学  
 東京地下工事(株)  
 東京都土木技術研究所  
 東建地質調査(株)  
 東鉄工業(株)  
 東電設計(株)  
 東電設計(株)  
 (株)東日測量設計社  
 東邦エンジニアリング(株)  
 (株)東和技術コンサルタント  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 戸田建設(株)  
 (株)中畑ソイルコーナー  
 西谷技術コンサルタント(株)  
 西松建設(株) 技術研究部  
 日本大学  
 日本大学  
 日本鋼管(株)  
 日本鋼管(株)  
 日本シールドエンジニアリング(株)  
 日本工営(株)  
 日本工営(株)  
 日本交通技術(株)  
 日本通信建設(株)  
 日鉄鉱コンサルタント(株)  
 日本水工設計(株)  
 日本道路公団 試験所  
 (株)日本パブリックエンジニアリング  
 (株)日建技術コンサルタント  
 (株)ニュー設計  
 八戸工業大学  
 林建設工業(株)  
 (株)阪神コンサルタンツ  
 東日本旅客鉄道(株)  
 (株)日立造船技術研究所  
 ヒメノコンサルタント(株)  
 ヒロセ(株)  
 福井大学  
 (株)藤井基礎設計事務所  
 フジタ工業(株)  
 フジタ工業(株)

(株)復建エンジニアリング  
 (株)復建エンジニアリング  
 藤原技術士事務所  
 復建調査設計(株)  
 不動建設(株)  
 不動建設(株)  
 不動建設(株)  
 (株)芙蓉調査設計事務所  
 北光ジオリサーチ(株)  
 前田建設工業(株)  
 前田建設工業(株)  
 前田設計(株)  
 (株)松村組  
 三井建設(株)  
 三菱重工業(株)  
 明治コンサルタント(株)  
 メトロ設計(株)  
 (株)守谷商会  
 山口大学  
 山口大学  
 山口大学  
 (株)四電技術コンサルタント  
 りんかい建設(株)  
 和歌山工業高等専門学校  
 和歌山工業高等専門学校

海外

オランダ デルフト大学  
 米国 ミネソタ大学  
 米国 イタスカ社  
 西オーストラリア大学  
 韓国 大林エンジニアリング  
 韓国 大林産業  
 韓国 三星建設  
 韓国 現代エンジニアリング  
 韓国 大韓コンサルタンツ  
 韓国 正友エンジニアリング  
 韓国 先進エンジニアリング  
 韓国 大宇  
 韓国 大宇  
 韓国 又大エンジニアリング  
 韓国 原子力研究所  
 韓国 三安エンジニアリング  
 韓国 都和エンジニアリング  
 韓国 宇星エンジニアリング  
 韓国 ソウル大学  
 韓国 ソウル大学  
 韓国 光州大学

(五十音順 敬称略)

# 個別要素法プログラム **CRC**

CRC-ITASCAが提供するカンドールモデル個別要素法(DEM)!!

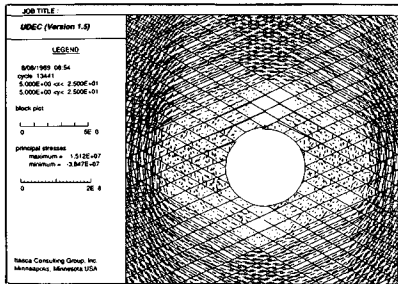
二次元個別要素法プログラム(ソースコード)



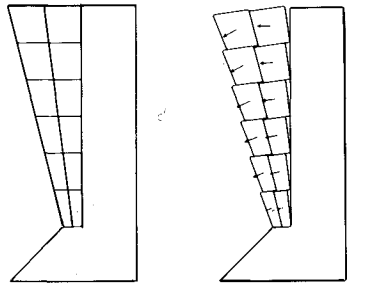
三次元個別要素法プログラム(ロードモジュール)



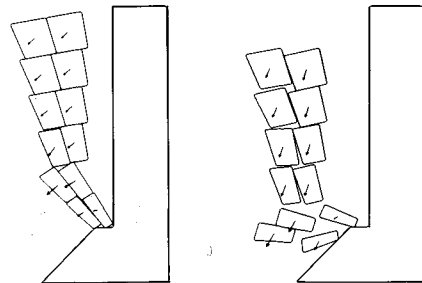
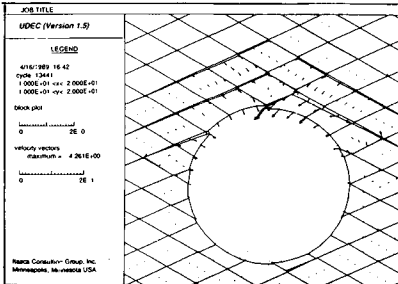
個別要素法とは、1971年にDr. P. Cundallが発表した不連続体に対する動的崩壊過程をシュミレートするための解析手法です。すなわち、岩盤をジョイントとブロックから構成される岩石ブロックの集合体と考え、個々のブロックの挙動を時々刻々に追跡し、全体挙動を解析しようとするものです。集合体としての岩盤や地盤が最終的に、安定状態となるものか、あるいは大変形するのか、崩壊していくのかなど、時間の経過に伴うモデル全体のブロックの動きや破壊の進行の様子を視覚的に追跡できます。現在、岩盤・地盤の崩落や安定性の解析など、不連続体力学の有力な解析手法となっています。



大深度地下掘削時の安定解析



岩盤斜面崩落シミュレーション



- 岩盤の転倒・滑落解析
- 岩盤の掘削解析
- 不連続性岩盤の安定解析
- 地震応答解析
- 浸透—ブロック連成解析 (UDEC)
- 熱—ブロック連成解析 (UDEC)

**■販売条件**  
**UDEC・3DEC**  
 ◆EWS, SUN-SPARC, HP, SONY-NEWS  
 ◆IBM-PC/AT及び互換機  
 ◆UDECはソースコードで提供します。  
 ◆3DECはロードモジュールで提供します。

圧密解析ソフトパソコンに上陸!!

未来設計企業  
CRC

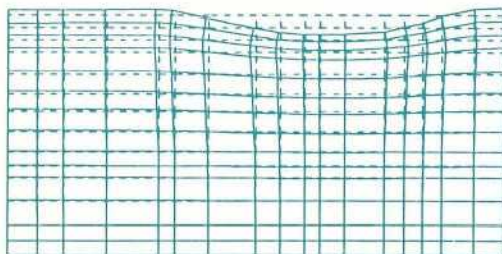
地盤の非定常圧密解析プログラム

# Mr. 圧密

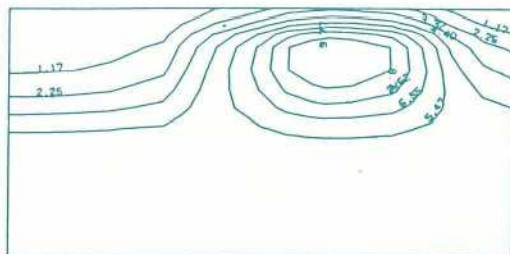
(特長)

- 非定常FEMによる線形弾性解析(christian系の解法)。
- 二次元平面歪解析。
- 要素として三角形・任意四角形が扱える。
- スケーリングをしているので安定して解が求まる。
- リスタート機能の完備。
- 入力はわかりやすいコマンド形式を採用(フリーフォーマット)。
- 図化処理(プロッタ、画像出力)等、豊富な機能を持つポストプログラムを完備。
- ジェネレート機能(長方形要素)により簡単にモデル作成が可能。
- 大モデルはそのままCRCネットワークでも(ホスト処理)可能。

販売価格：60万円 機種：NEC PC9800シリーズ 他



変形図



過剰間隙水圧コンター図

※EWS、汎用機用の圧密解析プログラム(逆解析も可能)として"UNICON"も用意しております。

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3  
(06)241-4121 営業担当: 岩崎

昭和三十三年八月十五日印刷 平成三年八月二十日発行  
土木学会論文集(毎月一回二十日発行)

土木学会論文集

定価1,000円(本体価格・九七二円)