

# [23] ベントナイトーセメントペーストを用いたまぶしコンクリート

正会員 ◦玉井元治 (近畿大学)

川東龍夫 (近畿大学)

## 1. まえがき

まぶしコンクリートは、細骨材を用いず、粗骨材にセメントペーストをまぶし、主として経済性と空隙の拡大を狙ったものである。V.M.MALHOTRA<sup>(1)</sup>によるNo-Fines Concrete(N.F.C.)の歴史は、1852年、英国において、2戸の家が粗骨材とセメントを用いて建てられたのを最初とし、その後1950年代には、5階建の住居まで使用範囲が広がられた。1973年には、N.F.C.に関する規格がCANMETに定められ、実用化は一層進んでいる。我国においては、透水性ヒューム管への利用や志向的に共通点のあるR.C.D.Concreteおよび超貧配合コンクリートの報告があるのみでN.F.C.に関する研究は、殆んど見受けられない。

V.M.MALHOTRA等の報告<sup>(1)(2)</sup>によれば、N.F.C.に使用されているセメントペーストの水セメント比( $W_C$ )の範囲は、コンシステンシーの点から(38~52)%に設定し、比較的せまい値である。本研究は、セメントペーストにベントナイトを混入し $W_C$ の範囲を拡大すると共にN.F.C.の諸特性を改良すべく概して次の3点につき検討したものである。(1) 粗骨材に付着するまで固まらない各ペーストの特性をレオロジカルにとらえ、

(2) ベントナイトーセメントペーストの圧縮強度および弾性係数につき検討し、(3) 各種ペーストを用いたN.F.C.の圧縮強度、弾性係数、透水係数等につきペーストの諸特性と関連づけ論じたものである。

## 2. 使用材料および配合

使用材料を表-1に示す。ペーストの配合は、 $W_C = 0.40 \sim 0.80$ 、 $B/W$  (ベントナイトー水比) =  $0 \sim 0.1$ とし、粗骨材は、5号6号、7号碎石を重量比で5号:6号:7号 = 5:1:4に配合した。

表-1 使用材料

Name of Material	Name of Product or Place of Production	Specific Gravity
Cement	Osaka Cement: Normal Portland Cement	3.16
Clay	Hōjun Bentonite: Gunma(200-Mesh)	2.49
Aggregate	Osaka Crushed Stone: Takarazuka	2.71

## 3. 実験方法

ベントナイトーセメントペーストは、粗骨材粒子間のエポイント材の役割を有すると考えられるが、この働きを充分に生かす為、ペーストおよび、まぶしコンクリートの流動状態、強度特性を以下の方法で検討した。

### (i) ベントナイトーセメントペースト

(j) ベントナイトーセメントペーストが骨材に付着する特性をレオロジー量として取扱うために、流動曲線、降伏応力に関して測定を行った。測定は、レオペキシーアナライザー(岩本製作所製、RA-101型)を使用し、定常剪断法(2重円筒型、外筒径 $\phi 22$ mm、内筒径 $\phi 18$ mm、外筒回転 $0.01 \sim 300$ rpm)、R.C.P.法(外筒回転角:  $1^\circ$ 、パルス周期: 10sec)により行った。

(ii) 流動性およびブリージング率試験は、土木学会プレパックドコンクリート施工指針によった。粘性測定には、精機工業研究所製VS-1を使用した。また、ペースト付着量の算出は、図-1に示す装置の筒内へ骨材を挿入し、ペースト投入後その流量を測定することにより求めた。

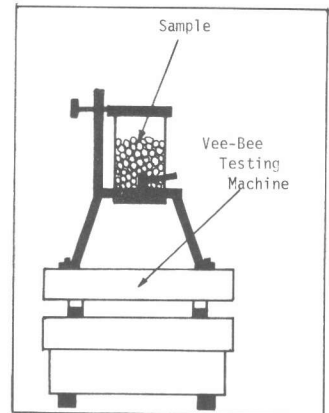


図-1 ベーストの付着量試験装置

(2) ペントナイト-セメントペーストの強度は、 $\phi 5 \times 10$  cmの円柱供試体を使用し、JIS-A-1108の圧縮強度試験方法によって測定した。

(3) まぶしコンクリート

(i) まぶしコンクリートの強度試験は、 $\phi 10 \times 20$  cmの供試体にコンクリート歪検出機（東京衡機製造所、PTC-1型）を装置し弾性係数の測定を兼ねて行った。

(ii) 透水係数は、水頭(H) = 30 cmを一定とし、供試体内を通過する水量より求めた。また、供試体から溶出するCa(OH)<sub>2</sub>の状態をpH測定機（東亜電波工業製、HM-5A）により調査した。

#### 4. 実験結果および考案

(1)-(i) ペントナイト-セメントペーストのレオロジー特性

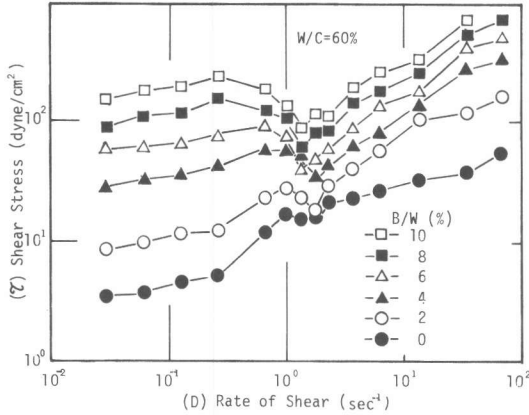


図-2 水-ペントナイト-セメント系のコンシステンシー曲線

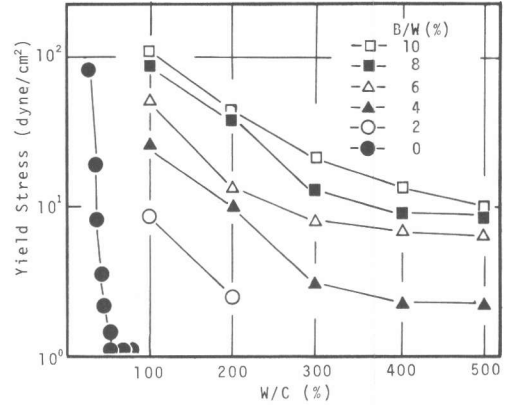


図-3 各種ペーストのW/Cと降伏値

図-2は、ペントナイト-セメントペーストのW/C = 60%を一定とし、ペントナイト-水比(B/W)を0~10%まで変化させた各系について、剪断速度(D)と剪断応力( $\tau$ )の関係を示したものである。この結果によれば、B/Wが大きい程 $\tau$ を大きくし、Dに対する $\tau$ から得られる見掛け粘度( $\eta_a$ )も大きくなることわかる。このような特性は、セメントの化合物組成に対するペントナイトの塩基置換、凝集、架橋効果等の作用によるものと考えられる。<sup>(3)</sup>

図-3は、B/W = 0~10%まで変化させた各系の降伏応力( $\tau_y$ )を示したものであり、B/W = 0%に比べて、ペントナイト混入系のW/Cが大きいかにかかわらず $\tau_y$ の値が極めて大きいことがわかる。図-4に、動的実験における正弦ひずみを一周だけ試料に与え、その応力応答からレオロジー量を求めるR.C.P法の波形を示す。図-5は、R.C.P法におけるT<sub>1</sub>値によって得られた各系の剪断応力の時間依存性を示したものである。W/Cが小さくなると、剪断応力の時間依存性も大きくなるが、再攪拌により元の系に近い値となり、チクソトロピー性を示す。いずれの実験結果もペントナイトの混入により、 $\eta_a$ 、 $\tau_y$ の増加とチクソトロピー性の上昇を計ることができ、N.F.C用のペーストとしてW/Cの拡大をも含め改

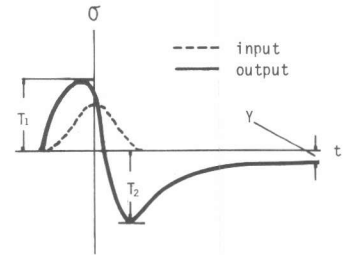


図-4 R.C.P法の波形

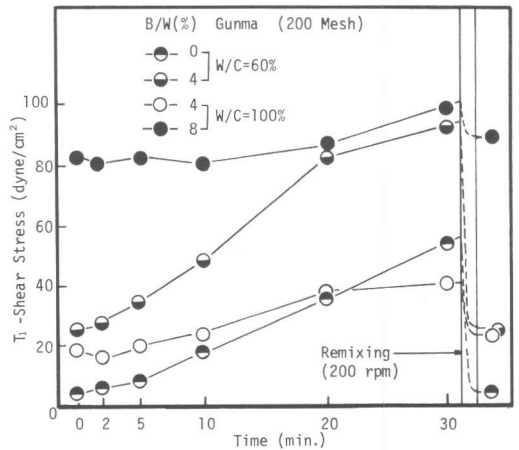


図-5 各種ペーストのチクソトロピー性

良可能なることを示唆するものである。

(II) ペーストの最適コンシステンシーと附着性状

筆者等の過去の研究によれば、無混入のセメントペーストにおいて、 $W/C = 38 \sim 52\%$ のコンシステンシーに相応する $\eta_a$ の範囲は、 $20 \sim 40$  Poise となり

ブリージング率を5%以下とした場合においても妥当な範囲と考えられる。(図-6)

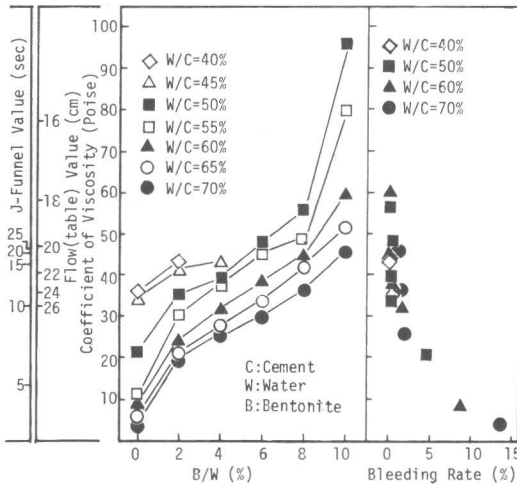


図-6 ペントナイト-セメントペーストの $B/W$ , または、ブリージング率と粘性係数

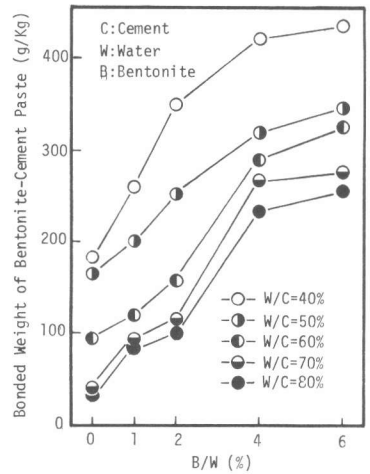


図-7 ペントナイト-セメントペーストの $B/W$ と骨材への附着量

図-7は、5、6、7号碎石を、最大密度となる5:1:4の重量比に配合し、3-(I)-(II)の試験法により、ペーストの附着量を測定し示したものである。この結果によれば、 $B/W$ の増加は、附着量の増加に寄与し、前述の $\eta_a, \tau_y$ ,チクソトロピー性の増大が附着特性に大きく関与していることがわかる。例えば、 $W/C = 70\%$ のセメントペーストを改良するためには、ペントナイトの種類にもよるが、 $B/W = 3\%$ 程度混入することによりペーストのレオロジー特性を適用範囲に制御することが可能となる。

(2) ペントナイト-セメントペーストの圧縮強度および弾性係数

$W/C$ を一定とし、 $B/W$ を変化したペーストの圧縮強度は、 $B/W = 4\%$ 程度までは、増加傾向を示し、例えば $W/C = 55\%$ においては、材令との関係は $\sigma_7 = 209 + 0.5 B/W$   
 $\sigma_{28} = 315 + 1.1 B/W$   
 $\sigma_{56} = 354 + 0.9 B/W$ となり、 $B/W$ が大きくなる程、この傾向は大きくなる。

$B/W = 4\%$ を一定とし、 $C/W$ を変化すると、各材令とも $\sigma$ と $C/W$ とは図-8に示すように一次式で示すことが可能である。また、材令変化に対する圧縮強度の関係は、 $B/W$ が大きくなる程、強度増加は大きくなり、ペントナイト

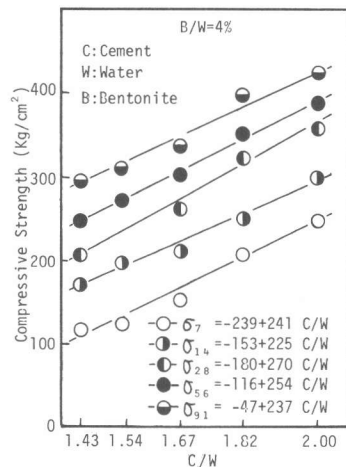


図-8 ペントナイト-セメントペーストの $W/C$ と圧縮強度

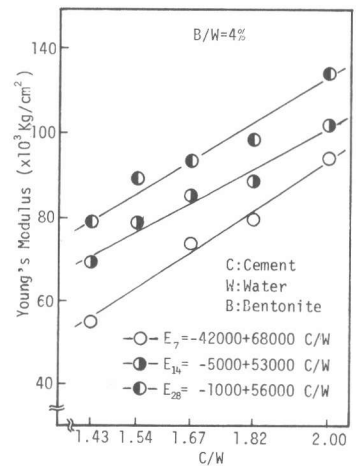


図-9 ペーストの $C/W$ と弾性係数

と $Ca(OH)_2$ の相互反応により生成されるトバモライト化の影響が大きいことを示している。

図-9は、 $B/W$ を一定とし、 $C/W$ を変化したペーストの弾性係数( $E_p$ )を示す。この結果によれば、 $\sigma$ と同様に一次の比例式で表わすことができる。しかし、 $C/W$ を一定とし $B/W$ を増加すると、 $\sigma$ とは逆に $E_p$ は減少し、その傾向は、材令の進行と共に大きくなる。

(3) N.F.C.の諸特性 N.F.C.のコンシステンシーは、骨材密度とペーストの性状の如何によるものであるが前述のレオロジー定数の範囲を用いれば、分離に対する抵抗性およびワーカビリティも最適と考えられる。

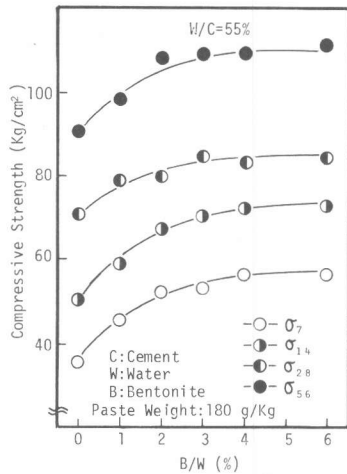


図-10 N.F.C.の  $B/W$  と圧縮強度

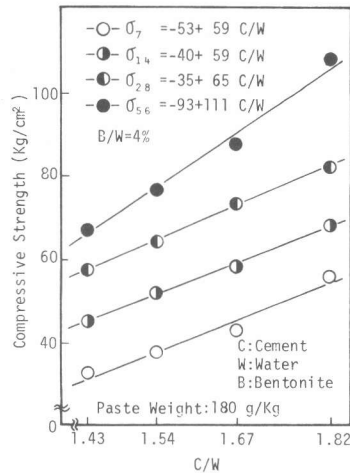


図-11 N.F.C.の  $C/W$  と圧縮強度

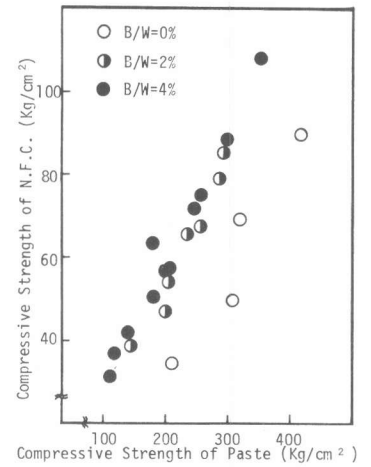


図-12 ベーストの圧縮強度と N.F.C.の圧縮強度

(i) N.F.C.の圧縮強度 ( $\sigma_c$ )  $W/C = 55\%$ を一定とし、 $B/W = 0 \sim 6\%$ に変化したペーストを用いると、図-10に示すように、 $B/W$ が大きくなる程、 $\sigma_c$ が大きくなり、この傾向は材令の進行と共に顕著である。

また骨材に対し、単位ペースト量を  $140 \sim 200 \text{ g/kg}$  に変化すると、 $\sigma_c$  はペースト量に比例し大きくなり、 $B/W = 4\%$ 以上では直線的に増大する。しかし、経済性の点から  $180 \text{ g/kg}$ 程度が適当と考えられる。

$B/W = 4\%$ を一定とし、 $C/W$ を変化すると、普通コンクリートと同様に一次式が成立する。(図-11)、 $\sigma_p$ と $\sigma_c$ の関係は、 $B/W$ が大きくなるに従い $\sigma_c$ が増加し、ベントナイトの混入がN.F.C.の強度増加に寄与していることを示している。(図-12)

N.F.C.の弾性係数 ( $E_c$ )  $E_c$ は $\sigma_c$ と同様、 $C/W$ 、 $B/W$ 、単位ペースト量に比例し増加する傾向を示す。また、普通コンクリートの $E_c$  (ACI式:  $E_c \approx 4300 W^{3/2} / \sqrt{\sigma_c}$ 、 $W = t/m^3$ )と比較した場合、N.F.C.の値は、かなり大きく、顕著な相違点と考えられる。 $E_p$ と $E_c$ との関係は、図-14のごとく、 $B/W$ の増加にともない $E_p$ は減少するが、それに反し、 $E_c$ は大きくなり骨材の弾性係数に依存する点が大いようである。

(ii) N.F.C.の透水係数は、単位ペースト量の増加に共い低下するが、 $140 \text{ g/kg}$ で $40 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、 $200 \text{ g/kg}$ で $22 \text{ cm}^2/\text{sec}$ となり透水性コンクリートとして優れた性能を示す。またpH値の測定から $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶出状況を調査したが、 $B/W$ を大きくしたものは、pH値の上昇は低く、ベントナイトが $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶出を防止しているものと考えられる。

5. 結び ベントナイト-セメントペーストは、コンシステンシーから考慮したN.F.C.の適応可能な $W/C$ の範囲を拡大するのみならず、硬化後の諸特性も著しく改善することを示唆するものである。

参考文献: (1) Malhotra V.M. JOURNAL of The ACI, vol.73 No.11, Nov.1976

(2) Forlani, Roberto, JOURNAL of The ACI, Proceedings, vol.46 No.6, Feb.1960

(3) 玉井, 榊, 森田, 川東, セメント技術年報, XXXI, 1977

(4) 玉井, 山崎, 川東, 土木学会関西支部年次講演会, 1978

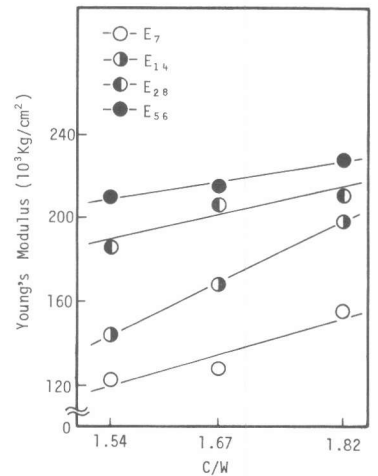


図-13 N.F.C.の  $W/C$  と弾性係数

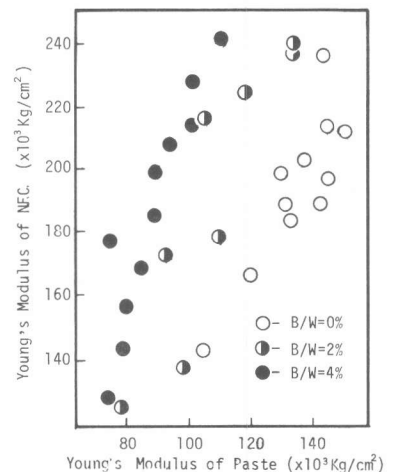


図-14 ベーストの弾性係数と N.F.C.の弾性係数