

プラスチック・ソイルコンクリートの研究 (Ⅲ)

— 耐久性について —

大 手 桂 二

KEIJI OHTA

Studies of plastic-soil-concrete (Ⅲ)

—on the durability—

要 旨

プラスチック・ソイルコンクリートの耐久性を検討するに当って、治山砂防の現場における環境を考慮すれば気象作用に対する抵抗性が一番大きな要因となることが考えられ、本研究ではこの点から凍結融解試験を行なうことによって、所要の目的を果せるように努めた。

その結果以下の事項が認められた。すなわち、

- 1) 凍結融解試験の方法によって、供試体の耐久性にちがった型の結果が生じること。本実験では、空気中での凍結融解試験と、水中でのそれとでは、後者の方がはるかに条件がきびしく、動弾性係数の低下率が大きかった。
- 2) 動弾性係数は、供試体の使用水量が多い程低下率が大きく、セメント使用量が小なほど低下率が大きくなった。(図—5. 6. 7)
- 3) 土の種類によっても動弾性低下率に明らかに差が認められ、ひいては、耐久性指数にもその影響がおよび、北白川の方が布志名よりも耐久性では優れているといえる。
- 4) 耐久性指数は、使用セメント量が大きほど増大し、使用水量が大きほど減少する(図—8)
- 5) 動弾性係数と圧縮強度との関係は、供試材料ごとにある曲線関係が成り立つことが認められる。(図—9)

はじめに

プラスチック・ソイル・コンクリートの強度については、すでに二三の知見¹⁾²⁾を報告したのであるが、これらの耐久性については、この種のコンクリートを利用する上で欠くことのできない性質の一つである。そこで筆者は、いかなる場所に、いかなるタイプの構造物に用いるにしろ、そのコンクリートがどの位の耐久性を持っているかを知らなければ、強度のみの追求では思わぬ事態を招く恐れもなきにしもあらずで、とくに治山、砂防の現場では山間僻地になるため、気象条件の苛酷な場合が予想され、これらの耐久性の把握については、工事計画に不可欠の条件の一つに挙げられるものと確信するのである。

コンクリートの耐久性に関する研究は、現在までの

ところ数多いとは云えず、とくにソイルコンクリートのような場合には皆無と云ってもよく、コンクリートの耐久性に関する試験方法自体も、我が国では確立されておらず、ASTMにおいて各種の方法³⁾が行なわれているにすぎない。

耐久性といっても気象作用に対するもの、酸・アルカル、および塩類などで含む水の作用に対するもの、すりへり作用に対するものなど種々の原因によって問題がおこるのであるが、治山・砂防の現場においては、最も大きな原因とみなされるのが気象作用であって、これに耐する耐久性が最も大きな要因をなしていると考えられ、本研究では、この点に焦点を絞って検討した。

実験および資料整理にあたってご協力いただいた、京都府技師、室裕通氏、および京都市技師、構進一郎

氏に厚く御礼申し上げる次第です。

材料および試験方法

1) 試験材料

a) セメント

市販の普通ポルトランドセメントを用い、強度試験を行ない適正な品質を有することが認められた。

b) 供試土

用いた供試土は、滋賀県信楽産の長石採取後のマサ土、京都市左京区北白川産。マサ土、京都市左京区京都大学附属演習林上賀茂試験地産の砂質ローム土、および島根県宍道町産の新第三紀層の布志名層に属する粘性土を用いた、それぞれの物理的性質および粒度分布は表-1 および図-1 に示す。

2) 試験装置

a) 熱サイクル試験機

気象作用に対する耐久性の試験として考えられるのが凍結融解試験であるが、この凍結融解のくり返しが行ないうる装置として、円井製作所製の熱サイクル試験機を用いた。

b) 動弾性係数測定装置

(a)による凍結融解作用の決められたサイクルを経過した供試体からその動弾性係数を測定する装置として、円井製作所製の動弾性係数測定装置を用いて行なった。

c) ソイルミキサー

所要の配合での材料を練り混ぜに際しては、通常のコンクリートのように、バッチミキサーでは、うまく、練り混ぜできない材料でもあるし、粒度が細粒部が多いことも考慮して、丸東製作所製のホバート型ソイルミキサーを使用することとした。

3) 試験方法

a) 予備試験

前項に挙げた各装置 および試験機の試運転を兼ねて、表-1 および図-1 のうち、信楽および上賀茂の二種の供試土を用いた、というのは、これらの供試土は他の試験用に採集したものの残土であって、手近かに得られたものとして採用したものである。

供試土（二種類）5 kg に対する、セメント量を15%、20%、25%の三種類、これに加えるに練り混ぜ水

表-1 実験材料の物理的性質
Table-1 Physical properties of soil

試料	比重	レキ分 %	砂分 %	シルト分 %	粘土分 %	60%径 mm	10%径 mm	均等係数	中央粒径 mm
信楽	2.61	50.7	39.4	8.0	1.9	2.8	0.095	29.5	2.05
北白川	2.67	20.3	71.2	6.5	2.0	1.2	0.085	14.1	0.8
上賀茂	2.75	3.2	67.2	17.8	11.8	0.25	0.042	59.5	0.19
布志名	2.74	—	51.9	19.9	28.2	—	—	—	0.085

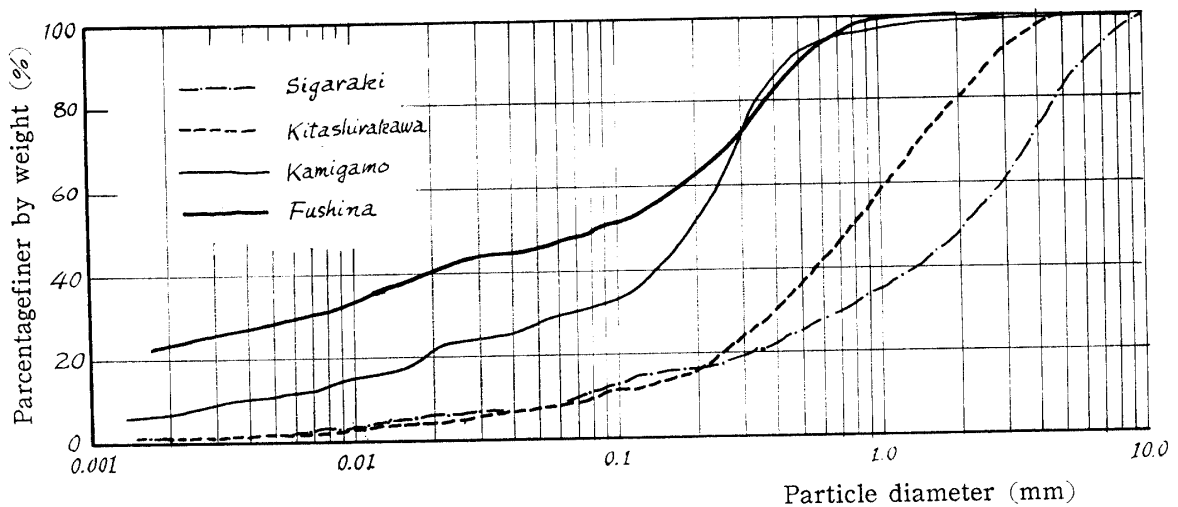


図-1 粒径加積曲線
Fig. 1 Particle-size distribution curve

量は、このソイルコンクリートのコンシステンシーをほぼ一定にすべく、モルタルフロー試験機を用いてそのフロー値が170mm～180mmに治まるように決めた。

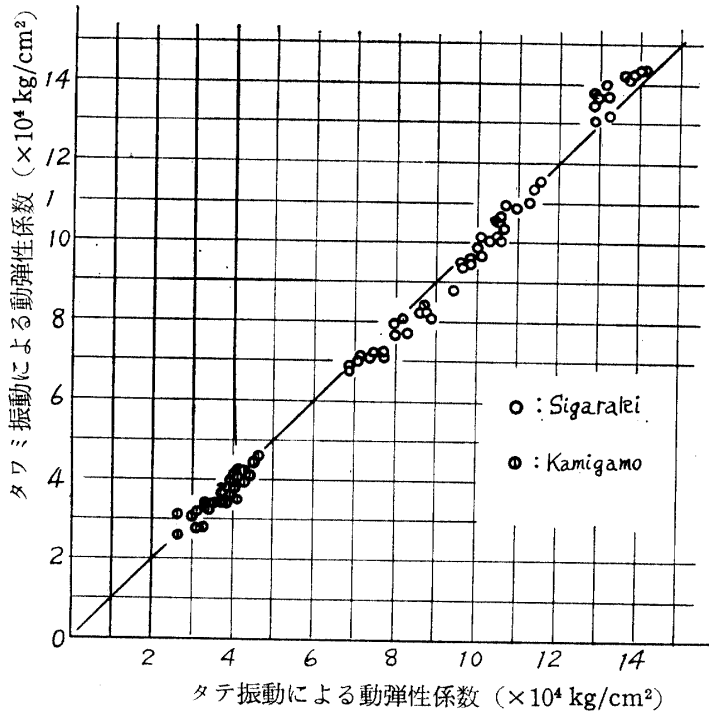
供試体は、直径5cm、高さ10cmの円柱型として、圧縮試験、および凍結融解試験に供した、なお凍結融解試験は、供試体を空気中に行なう方法を採用した。

b) 凍結融解試験および耐久性指数の算出

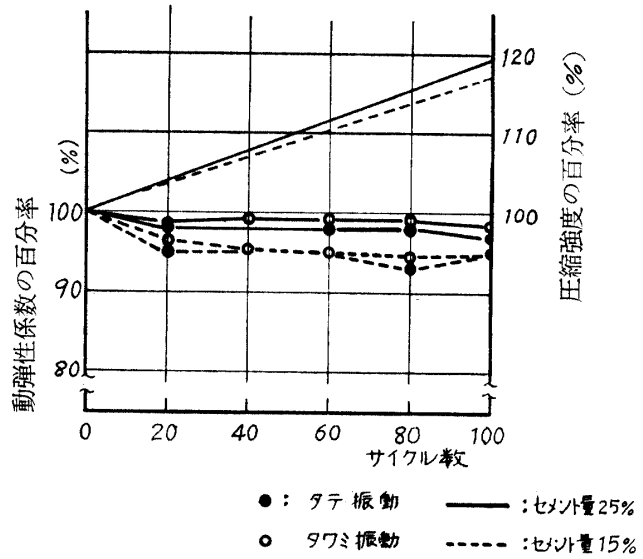
(a)の結果は後述するが、空気中に行なう凍結融解試験は、テストピースの破壊は殆んど認められず、かえって強度の増進すら認められるほどで、あまり良い試験法とは認められず、この試験方法を水中での凍結融解試験に改めることとし、材料は、新たに採取された、北白川産のマサ土（以後北白川と呼ぶ）および、島根県宍道町産の布志名層の土（以後布志名と呼ぶ）を用いた。

表一2に示すような、実験因子と水準を用いて、(a)と同様に直径5cm、高さ10cmの円柱供試体を作製し耐久性試験および圧縮強度試験に供した。

耐久性指数は、凍結融解試験中で決められたサイクル数ごとに、その動弾性係数を測定し、試験開始直前の動弾性係数の60%まで低下したときのサイクル数とで表わされる指数で、ASTMでは次式で表わしてい



図一2 タテ振動およびタワミ振動による動弾性係数の関係
Fig. 2 Relation between dynamic modulus of elasticity by axial vibration and deflectional vibration



図一3 凍結融解作用による動弾性係数および圧縮強度の変化（供試土：信楽）
Fig. 3 Percentage of dynamic modulus of elasticity and compressive strength by freezing and thawing of specimens

る。

$$DF = PN/M \text{ (a) (durability factor)}$$

ここに P：凍結融解回数がNのときの動弾性係数と凍結融解開始前の動弾性係数との比率(%)

N：Pが60%になったときの凍結融解回数
M：示方された凍結融解回数

以上のDFを求めて耐久性についての検討を加えた。

表一2 実験因子と水準
Table-2 Factors and its levels.

因子	水準
土の種類	1) 北白川, 2) 布志名
セメント量	1) 15%, 2) 20%, 3) 25%
フロー値	1) 140mm, 2) 160mm, 3) 180mm

結果の考察

1) 予備試験

コンクリートの耐久性について、前述のように、気象作用に対する耐久性の試験として、凍結融解サイクル後の動弾性

係数を測定するのに円井製作所製の動弾性係数測定装置を用いたのであるが、この装置が正常に作動せず、二次以上の共振周波数が、オシロスコープに何個か現われどれが正常な値か判定しかねる場合も多く、結局供試体寸法が5×10cmの小さいものであることの点が表われたと考えられ、これまでのタテ振動測定法に加えて、タワミ振動測定も並列して行ない、図-2、および図-3に示したように、タワミ振動測定法による動弾性係数を測定することにより、タテ振動による動弾性係数も測定しうることが認められた。図-

3は、信楽の試料による一例であるが、空気中での凍結融解サイクル数が100までの結果では、動弾性係数の低下はあまり認められず、セメント量が15%と少量の配合でやゝ動弾性係数の低下が認められるにすぎない。また、100回のサイクル後の圧縮強度がいずれも10%余り増大していることから、凍結融解試験での試験方法が適当なものでないと明確に耐久性なるものの検討はできないことも認められた。

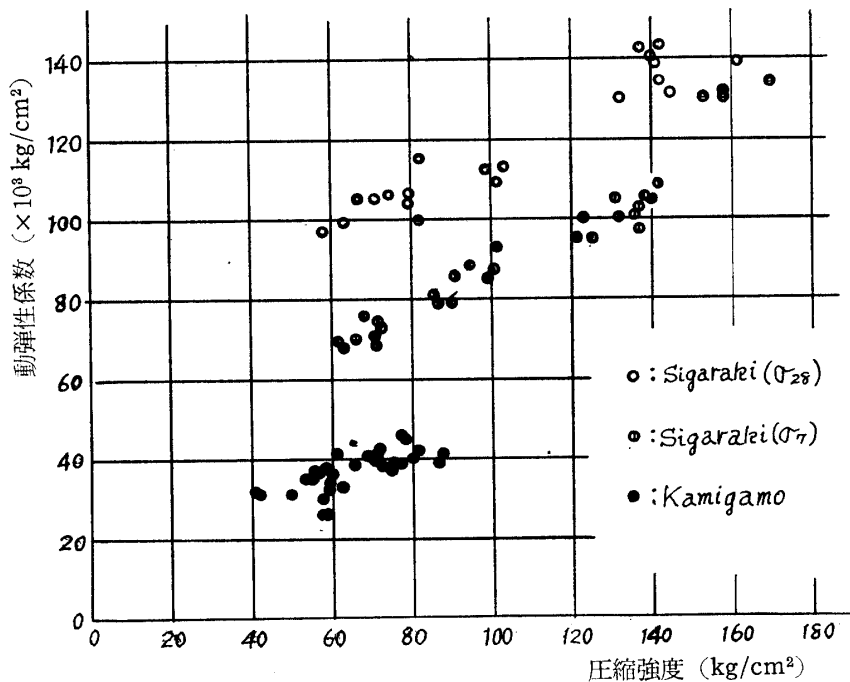


図-4 凍結融解作用100サイクル後の圧縮強度と動弾性係数
Fig. 4 Relation between dynamic modulus of elasticity and compressive strength after 100 cycle of freezing and thawing

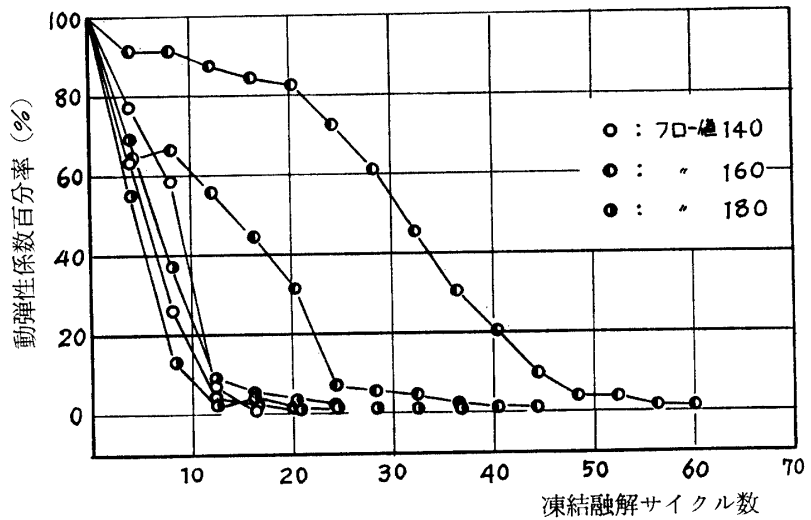


図-5 セメント量15%での動弾性係数低下率 (供試土:北白川)
Fig. 5 Reduction rate of dynamic modulus of elasticity in 15% cement content

図-4に、凍結融解試験100回後の動弾性係数と圧縮強度との関係をプロットしたものであるが、明らかに供試材料の差および、材齢における差が認められ、この区別されたグループごとに動弾性係数と圧縮強度との間には何らかの関係が認められることも判明した。いずれにしても以上のべたように、試験方法なり装置の作動方法なり、その性能の限界などを確認できずに止まった。

2) 耐久性に関する実験結果
前節(1)での結果を考慮して、表-2に示すように供試土として北白川産のマサ土および宍道町産の布志名層の土を用い、セメント量として15%、20%および25%の3水準、さらに水量の3水準として、モルタルフロー試験器のフロー値で代表させて、それぞれ、フロー値140mm、160mm、および180mmの3水準として、わり付けを行ない、各条件ごとの供試体を28日間、21°Cの水中養生を行なったものについて、水中に浸漬したままの凍結融解作用を施した、本実験では-30°C~+5°Cの温度範囲で1日(24時間)に4サイクルの割合いで装置を運転したものである。

表-3に、表-2で用いた。

表-3 各種測定値

Table-3 Experimental data

実験番号	w / C	動弾性係数 ×10 ³ kg/cm ²	耐久指数 DF	圧縮強度 kg/cm ²	実験番号	w / C	動弾性係数 ×10 ³ kg/cm ²	耐久指数 DF	圧縮強度 kg/cm ²
1	1.23	165	2.4	—	10	3.65	30	1.2	—
		154	4.8	—			28	1.2	—
		149	—	67.8			31	—	20.4
2	1.26	174	16.8	—	11	4.07	20	1.2	—
		161	6.0	—			21	1.2	—
		156	—	71.8			21	—	14.3
3	1.25	164	2.4	—	12	3.74	26	1.2	—
		163	3.0	—			26	1.2	—
		163	—	74.9			27	—	16.3
4	1.07	185	37.8	—	13	2.99	34	1.2	—
		179	28.2	—			35	1.2	—
		182	—	74.6			34	—	36.2
5	1.00	206	36.0	—	14	3.14	30	3.0	—
		209	18.6	—			32	3.0	—
		205	—	120.8			32	—	27.5
6	1.21	206	8.4	—	15	2.96	37	1.2	—
		199	15.9	—			34	1.2	—
		201	—	101.7			35	—	36.7
7	0.76	283	81.0	—	16	1.14	49	3.0	—
		252	74.0	—			49	3.0	—
		244	—	224.1			49	—	65.7
8	0.81	246	52.2	—	17	2.66	42	3.0	—
		244	48.6	—			42	3.0	—
		241	—	159.0			38	—	56.6
9	0.84	257	80.0	—	18	2.84	34	2.4	—
		237	19.8	—			34	3.0	—
		244	—	197.2			37	—	35.2

因子と水準に従ってわりつけた配合にしたがって得られた各種の測定値を示す。

ここで、動弾性係数は、材齢28日の凍結融解試験を施す直前のもので、これらの動弾性係数を100として、凍結融解サイクルごとの動弾性係数の低下率を、北白川の試料について、図-5、図-6および図-7に示したような、所定のサイクルごとの動弾性係数を測定し、もとの値に対する百分率で表わしたもので、これらの図の動弾性係百分率が60%に当る凍結融解サイクル数で、耐久性指数を(a)式によって算定したものである。これらの値が表-3のDFである。

表-3の圧縮強度は、各実験番号ごとのバッチから

3本の供試体を作成し、内2本を前記耐久性指数測定用にあて、残り1本を、材齢28日における動弾性係数を測定後、破壊試験を行なったものである。

図-5は北白川でのセメント量15%の配合に対する動弾性係数の変動の図であって、フロー値140mmの供試体の低下率が急激であるのは、貧配合のソイルコンクリートの練り混ぜのさいの水量が小な場合、練り混ぜ作業が不十分なためではないかと考えられ、ソイルコンクリートがウォークアブルな場合には水量が少ない方が良いという推論がフロー値160mmと180mmについて云えるのではないだろうか、この考え方が、図-6では、より一層明確に表われていると考えられ

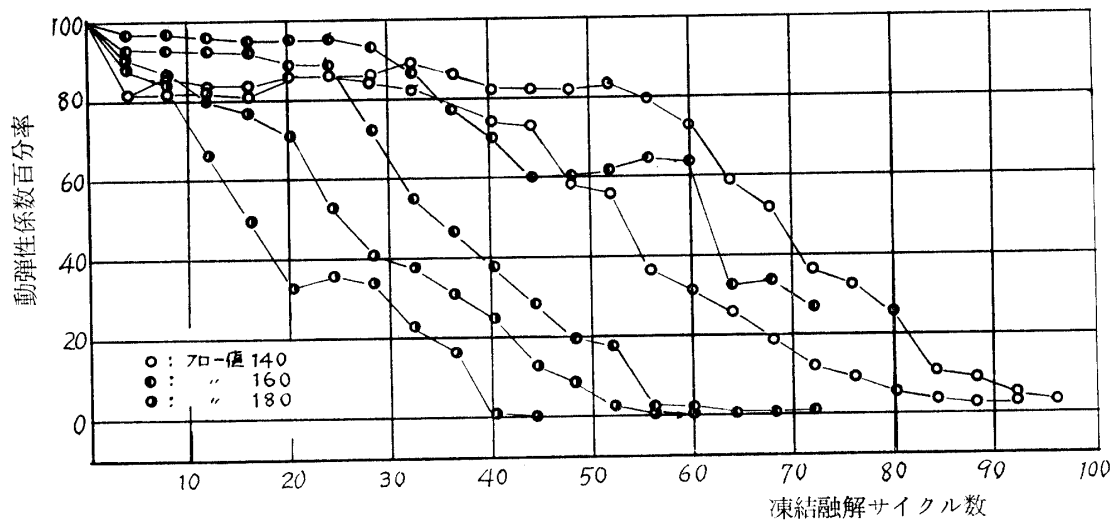


図-6 セメント量20%での動弾性係数低下率 (供試土: 北白川)

Fig. 6 Reduction rate of dynamic modulus of elasticity in 20% cement content

る。図-7のセメント量25%ともなると明らかに水量の小さいコンクリートの方が動弾性係数の低下率が緩慢であることが認められる。

供試土のうちの、布志名については、全試料が8サイクル後には完全に破壊されてしまい、この実験条件では苛酷すぎたのではないかと考えられ、動弾性係数が4サイクル後に測定しえたのはセメント量25%の供試体のみで、これとても8サイクル後には破壊している状態で図示するのを割愛させていただくことにする。

以上のような、動弾性係数低下率曲線から、(a)式によって耐久性指数 (durability factor) を求め、これらについて、表-2に示した因子と水準についての分散分析を行なってみると、いずれの因子について

も有意であるとの結論をえたので、これらの関係を図示したのが図-8である。図から云えることは、供試土の差が歴然たること、マサ土においてセメント量が増大すれば耐久性指数が飛躍的に増大することが認められ、第三紀層の布志名の土においても、わずかながら、セメント量の増大につれて耐久性指数の増加がみられる程度である。

フロー値の増大 (水量の増加) は、布志名については何とも云えないが、北白川のマサ土においては明らかに耐久性指数が減少することが認められ、ソイルコンクリートにおいて、ウォーカブルな範囲において水量を減少させる程、高強度が得られるという、水セメント比説にも匹敵する、水量が減少させることができれば耐久性指数は増大するということが認められるの

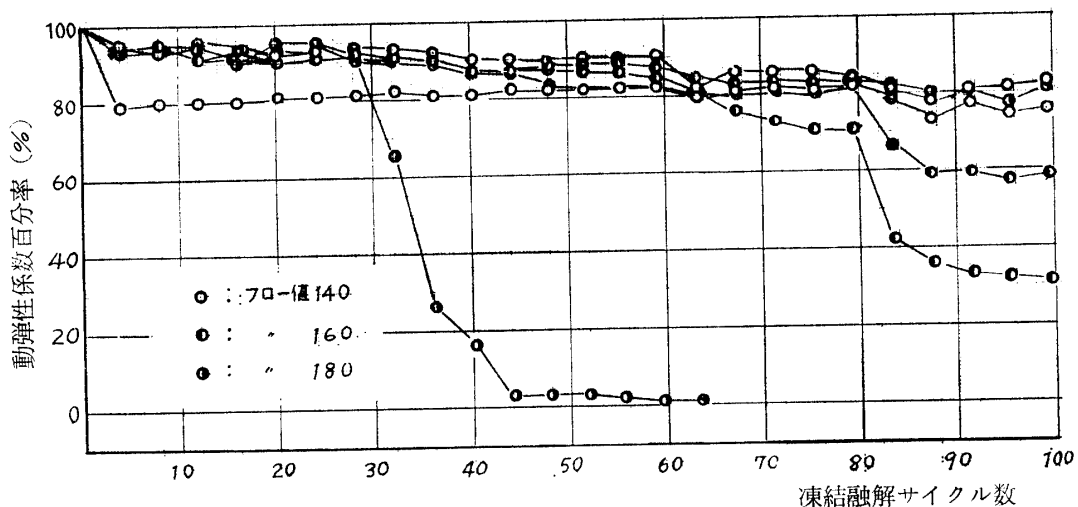
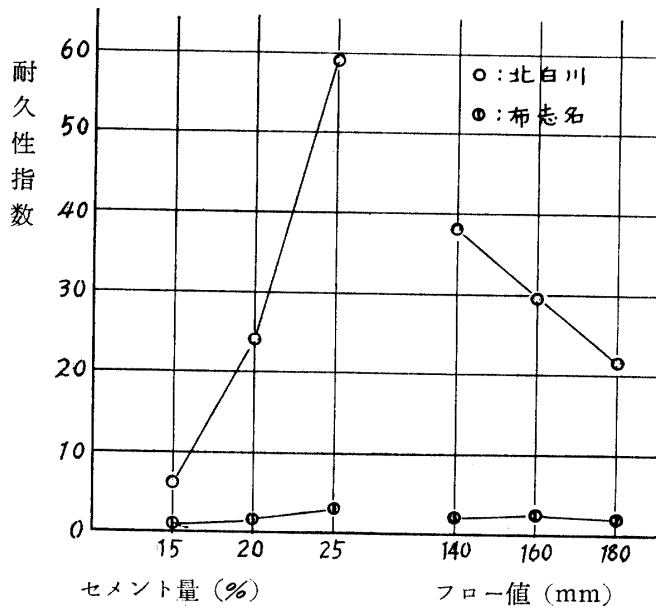


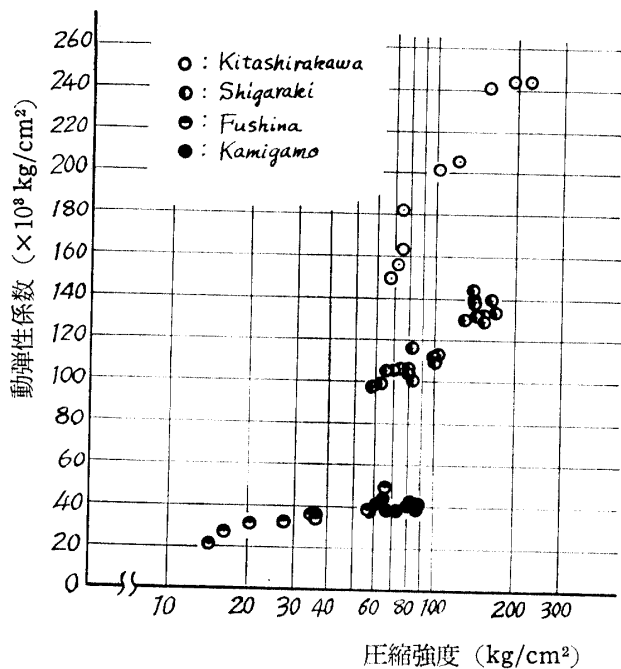
図-7 セメント量25%での動弾性係数低下率 (供試土: 北白川)

Fig. 7 Reduction rate of dynamic modulus of elasticity in 25% cement content



図—8 セメント量およびフロー値と耐久性指数との関係

Fig. 8 Relation between durability factor and cement content or flow value



図—9 動弾性係数と圧縮強度との関係

Fig. 9 Relation between dynamic modulus of elasticity and compressive strength

である。

以上のことから、ソイルコンクリートにおいても、一般のコンクリートにおけると同様、使用水量をいかに抑えて練り混ぜを行なうかにその成否の鍵が存在す

るのではないかと考えられるのである。

図—9に、材齢28日における動弾性係数と圧縮強度の関係を示したが、同じ土でも、その個々の性質によって明らかに差が認められ、図では、資料数も少なくはつきりと断言することは差し控えたいが、同じマサ土といっても北白川と信楽とでは、動弾性係数の増大する割合が大であり、この差は何によって生じるのかは、たんに粒径分布のみで解決できる問題ではなく、今後さらに検討を重ねていきたい問題である。ちなみに普通コンクリートの動弾性係数と圧縮強度との関係について、明石氏⁴⁾の結果からみれば、強度的には本実験でも200kg/cm²前後の結果がえられるものの、動弾性係数では10~25×10⁸kg/cm²の範囲内にあるのに対し、普通コンクリートでは30~40×10⁸kg/cm²と明らかに差が認められ、前者では粗骨材が入らないモルタル状のソイルコンクリートであるのに対し後者は、配合比1:3:6のコンクリートであることの差ができてきているものと考えられる。

あとがき

プラスチック・ソイルコンクリートの耐久性の測定方法を見出すべく努力したのであるが、満足な結果は得られたとはいえず、難しい。しかし一応の成果はえられたと考えられ、今後は凍結融解試験のサイクル数を200回に増やし、一般のコンクリートと同じレベルで比較検討して行きたい。また、用いる材料も今回のように極端に差のある試料を2種だけではなく、マサ土でも良く似た粒径分布なり、含有鉱物のちがったものなりの多くの土について耐久性との関連性を検討していきたい。

引用および参考文献

- 1) 大手桂二 (1968)：ソイルコンクリートの研究(I)，京府大学報農学20：68—77。
- 2) 大手桂二 (1970)：ソイルコンクリートの研究(II)，京府大演報14：75—81。
- 3) 近藤泰夫・坂静雄 (1969)：コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店。
- 4) 明石外世樹 (1960)：コンクリート対数減衰率測定について，セメント技術年報14。

Summary

The author have done several investigation for durability of plastic soil concrete, by making use of soil, as shown in Fig. 1 and Table 1, that is, the granite origin soil from Shigaraki in Shiga prefecture and Kitashirakawa in Kyoto prefecture, the lower Pleistocene origin soil from Kamigamo in Kyoto prefecture and the Tertiary origin soil from Fushina in Shimane prefecture.

The results are summerized as follows ;

1) Within the range of this report, the reduction rate of dynamic modulus of elasticity by the freezing and thawing test for the specimens in the water are greater than by the freezing and thawing test in the air.

2) For the dynamic modulus of elasticity, the more water content in specimens, the more reduction rate of dynamic modulus, and the

more cement content in specimens, the less reduction rate of dynamic modulus of elasticity. (Fig. 5, 6, and 7)

3) It is recognized that the reduction rate of dynamic modulus are distinctly difference by the soil type. Consequently, it is recognized that the durability of Kitashirakawa specimens are superior to that of Fushina specimens.

4) The more cement content in specimens, the more increase the durability factor, and the more water content in specimens, the more decrease the durability factor. (Fig. 8)

5) It is recognized that, within the range this report, some semi-logarithmic curves are drawn with each soil types for the relation between the dynamic modulus of elasticity and compressive strength of plastic soil concrete. (Fig. 9)