

論文

[1096] 高温条件下におけるポリマーコンクリートの力学特性

高山俊一^{*1}・出光 隆^{*2}・山崎竹博^{*2}

1. まえがき

維持補修を必要としない高耐久性材料への需要は高い。コンクリートも本来、高耐久性であったが、使用条件が厳しく、要求される程度も極めて高くなってきたこともあり、その地位も揺らぎつつある。不飽和ポリエステル樹脂を使用したポリマーコンクリートの耐久性は、著しく優れていることがすでに知られている。ポリマーコンクリートが構造用材料としてさらに使用されるためには、高温状態におけるコンクリートの性状について研究の積み重ねが必要と考えられる。そこで、耐久性に優れているイソフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂を中心に、40～60℃の高温雰囲気中におけるクリープ性状を調べ、使用可能な温度範囲について検討した。

2. 実験概要

2. 1 ポリマーコンクリートの配合および供試体の作製

供試体は直径7.5cm、高さ15cmの円柱とし、打設後80℃で、2時間の高温養生を行った。樹脂はイソフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂（比重1.22、引張強度5.2kgf/mm²、粘度(25℃)5～7ポアズ、以下イソフタル酸系樹脂と略す）、ビニールエステル系樹脂（比重1.13、引張強度7.9kgf/mm²、粘度(25℃)0.9～2.3ポアズ）および比較のためにオルトフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂（比重1.23、引張強度3.0kgf/mm²、粘度(25℃)3～4ポアズ、以下オルトフタル酸系樹脂と略す）の3種類を使用した。なお、一部の実験については、ビスフェノール系不飽和ポリエステル樹脂（比重1.12、引張強度3.3kgf/mm²、粘度(25℃)4.5～5.5ポアズ、以下ビスフェノール系樹脂と略す）も使用した。骨材の物理的性質を表-1に示す。骨材は絶対乾燥状態とした後に使用した。ポリマーコンクリートの配合の一例を表-2に示す。樹脂の量は重量比で10～12%とした。充填材は通常、炭酸カルシウムを使用するが、今回はフライアッシュ（比重2.11）を使用した。ポリマーコンクリートの最適配合を決定する場合、コンシステンシーの測定方法としてスランプ試験ではなく、図-1に示す突

表-1 骨材の物理的性質

	粗骨材	細骨材	
		荒砂	細砂
比重	2.69	2.59	2.57
吸水率(%)	1.12	1.17	1.39
粗粒率	6.02	3.86	1.81
実積率(%)	55.8	63.1	60.2

表-2 ポリマーコンクリートの配合の一例(kg/m³)

樹脂	粗骨材	細骨材(荒)	細骨材(細)	フライアッシュ
260	972	437	186	312

注) 荒砂: 3号けい砂、細砂: 5号けい砂

* 1 九州共立大学助教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

* 2 九州工業大学助教授 工学部設計生産工学科、工博（正会員）

き棒（ $\phi 16\text{ mm}$ ，重量 760 g ）を使用した貫入試験で行った [1]、[2]。突き棒の先端をコンクリート表面に接触させて置き、試験開始とともに経過時間に対する貫入量を測定する。コンクリート評価は貫入量 20 cm に対する経過時間で行う。以下、これを貫入時間と呼ぶこととする。

2. 2 クリープ試験

図-2に示すクリープ試験装置に供試体を上下2個設置し、オイルジャッキで所定の荷重を載荷した。クリープの載荷条件は圧縮強度の 30% で行った。載荷時の応力は、供試体の対称両側面に貼付したストレインゲージ（防水処理を十分行った）とオイルジャッキの油圧計の読みから確認した。供試体の温度は 20°C 、 40°C および 60°C の3条件とした。供試体は、寸法 $\phi 20 \times 30\text{ cm}$ の円筒形のステンレス鋼製容器に入れ、恒温循環水槽装置を用いて温水を循環させ、一定温度を維持した。

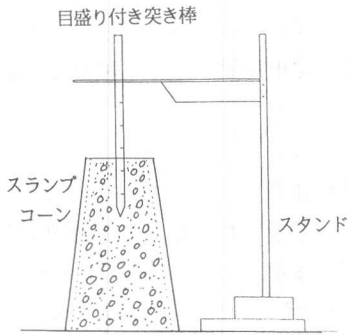


図-1 貫入試験器

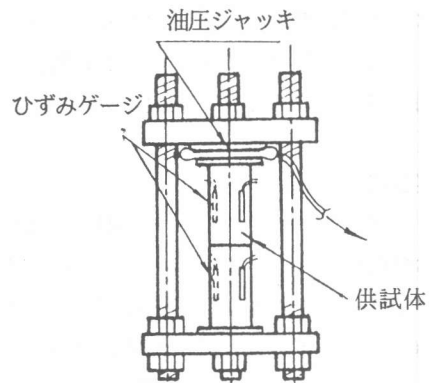


図-2 クリープ試験装置

3. 結果および考察

3. 1 ポリマーコンクリートのコンシステンシーおよび強度変化

ビニルエステル系樹脂を使用し、細骨材率（ s/a ）が 40% 、フライアッシュ混入率（フライアッシュ量 F （重量）/樹脂量 R （重量））が 1.2 および樹脂量が 12% を基準とし、樹脂量、フライアッシュ混入率および細骨材率を種々変えて貫入試験を行った。その結果を図-3～図-5に示す。図-3によると、樹脂の量が多くなるほど貫入時間は小さくなっている。ポ

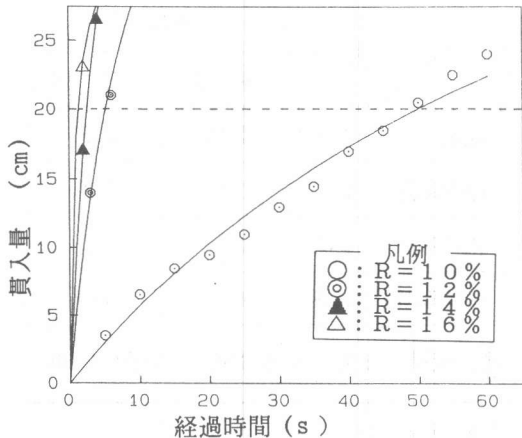


図-3 樹脂量の変化と貫入量

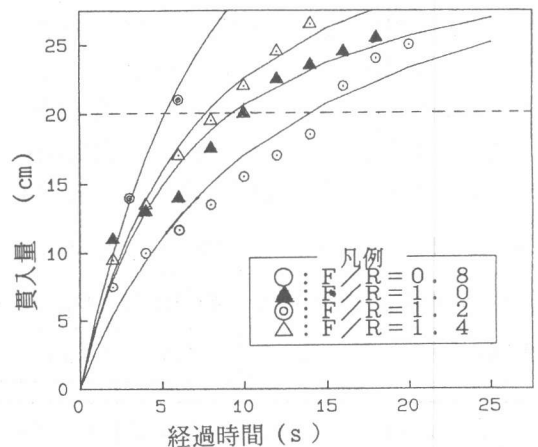


図-4 フライアッシュ混入量と貫入量

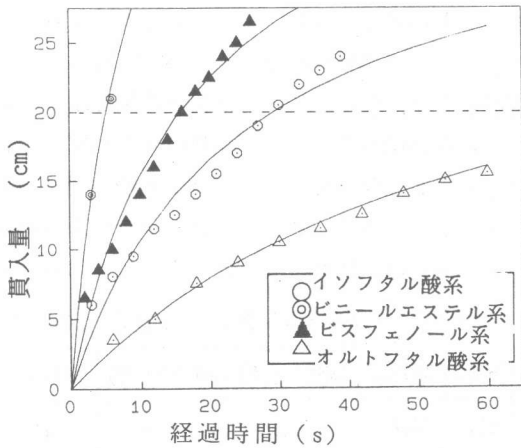


図-5 樹脂の種類と貫入量

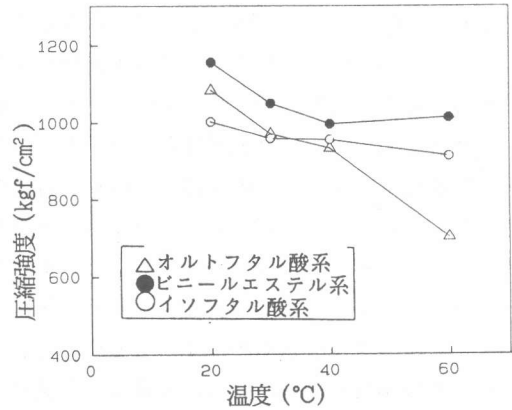


図-6 温度と圧縮強度

リマーコンクリートがワーカブルであるためには、貫入時間が8～18秒であることが良いとされている[1]。したがって、樹脂量としては11～12%程度が適当と考えられる。図-4によると、フライアッシュ混入率が $F/R=1.2$ の場合に最も貫入時間が小さくなっている。フライアッシュ混入率は樹脂量に比べて、貫入時間に影響する程度は小さいものと考えられる。樹脂の種類を変えた場合、ビスフェノール系樹脂を使用すると貫入時間が約16秒となり、最適な軟らかさとなっている。

図-6は温度と圧縮強度の関係を示す。図中の40°Cおよび60°Cにおける圧縮強度は、弾性係数と強度が直線関係にある[2]ため、弾性係数を測定して推定した値である。図-7に温度と弾性係数保持率の関係を示す。弾性係数保持率は、雰囲気温度20°Cでの弾性係数を100%として求めた。図-6によると、イソフタル酸系樹脂およびビニールエステル系樹脂の場合、40°Cおよび60°Cと温度が高くなると、強度は低下するが20°Cでの強度の約5%程度にとどまる。オルトフタル酸系樹脂の場合の強度低下は、40°Cまでは他の樹脂の場合と類似した傾向を示すが、60°Cになると20°Cの強度の約35%にも達する。これまでの筆者の研究でもオルトフタル酸系樹脂の場合は温度50°C程度で強度低下を示すことを報告している[2]。したがって、高温の影響を受けやすい箇所では、イソフタル酸系樹脂およびビニールエステル系樹脂を使用することが適当であると考えられる。

3.2 クリープ特性

クリープ試験を行ったポリマーコンクリートの配合を表-3に示す。図-8は載荷荷重が30%、温度が40°Cの条件でのクリープ試験結果である。42～43日後のクリープ係数の減少は、荷重の除荷のためである。同図によると、オルトフタル酸系樹脂の場合のクリープ係数は、ビニールエステル系樹脂およびイソフタル酸系樹脂の場合に比べて著しく大きくなっている。しかも、オルトフタル酸系樹脂の場合のクリープ係数は、載荷40日を経過してもさら

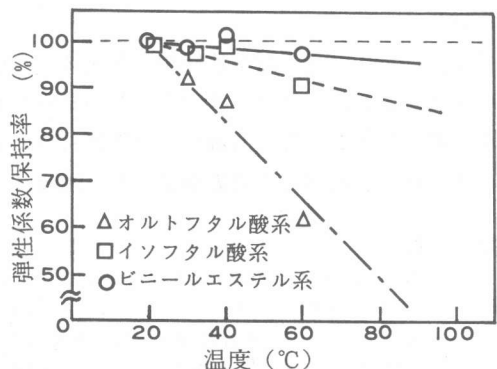


図-7 温度と弾性係数保持率

に増加傾向がみられ、クリープ限界が著しく小さいことが考えられる。これに対して、ビニールエステル系樹脂およびイソフタル酸系樹脂の場合、クリープ係数は0.5以下で極めて安定しているものと考えられる。図-9に温度60℃で、載荷荷重30%でのクリープ試験の結果を示す。同図によると、オルトフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂の場合のクリープ係数は載荷初期から著しい増加傾向を示し、供試体は載荷6日目で破壊した。したがって、オルトフタル酸系樹脂の場合、60℃の高温雰囲気中での使用は不可能であるものと考えられる。イソフタル酸系樹脂の場合のクリープ係数は0.7~0.8を示し、40℃におけるそれに比べて約2倍弱となっている。ビニールエステル系樹脂の場合のクリープ係数は、イソフタル酸系樹脂に比べても小さく、40℃の場合が約0.3でありほとんど変わらないものと考えられる。

表-3 ポリマーコンクリートの配合 (kg/m³)

樹脂	粗骨材	細骨材(荒)	細骨材(細)	フライアッシュ
219	942	619	221	241

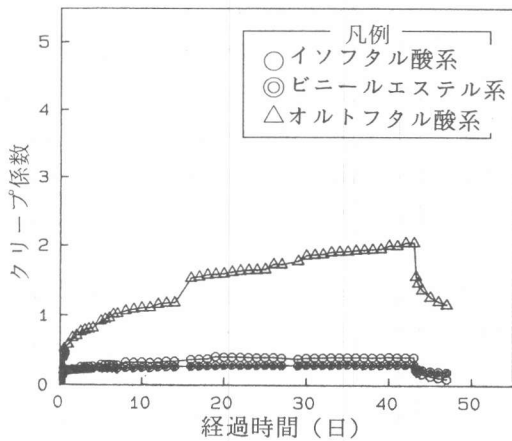


図-8 40℃でのクリープ係数

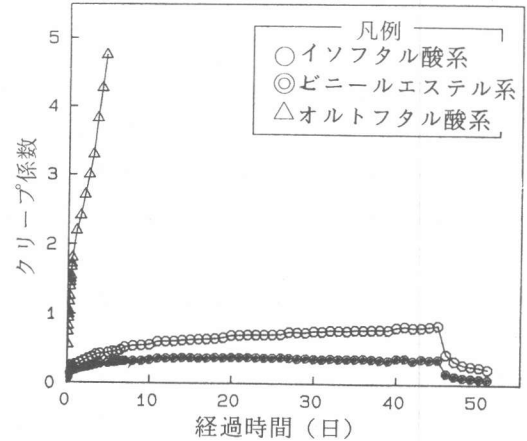


図-9 60℃でのクリープ係数

4. まとめ

- (1) ポリマーコンクリートの最適配合の決定方法として、突き棒を利用した貫入試験は、既存の道具を利用でき、簡便な優れた方法と考えられる。
- (2) オルトフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂は、60℃の高温雰囲気中での強度低下が著しい。
- (3) イソフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂およびビニールエステル系樹脂では、載荷応力が強度の30%、温度60℃の厳しい条件でも、クリープ係数は0.4~0.8であり、この程度の力学特性を有しておれば、構造用材料として使用できるものと考えられる。

終わりに、実験にご協力を戴いた麻生セメント(株)中央研究所に対して謝意を表します。

参考文献

- [1] Yamasaki, T. and Miyakawa, K: A Study on the Rheological Mix Design of Unsaturated Polyester Resin Concrete, The Production Performance & Potential of Polymers in Concrete, Proceedings of the 5th International Congress on Polymers in Concrete, pp.43~48, Sep.1987
- [2] 山崎竹博・出光隆・渡辺明・宮川邦彦: 不飽和ポリエステルレジコンクリートのクリープ特性に関する研究、材料、Vol. 40, No. 456, pp. 36~42, 1991.9