

[30] 載荷履歴をもつモルタルの強度発現と微細構造

正会員 ○ 田代 忠一 (山口大学 工学部)

吉本 彰 (摂南大学 工学部)

平田 眞※ (山口大学 工学部)

1. まえがき

コンクリート及びモルタルの強度が所要強度に達しない状態で、一時載荷された場合に、以後の強度発現や微細構造がどのように変わるかについては、未だ解明されていない部分が多い。本研究は、材令7日及び28日のモルタル硬化体に、50~300Kg/cm²の載荷を一時与えた場合の以後の強度発現、細孔径分布、全細孔容積及び組織などを調べ、微細ひびわれと水和に関連させて、それらの結果を考察した。

2. 実験方法

2.1 供試体の作製

供試体は、セメント：砂 = 1：2， $W/C = 0.65$ の標準モルタルで、脱型は練り混ぜ成型後1日とし、以後20℃の水中養生を行った。使用砂は、豊浦標準砂である。供試体の大きさは1×1×4cmである。

2.2 載荷条件

載荷は、材令7日硬化体については、50, 100, 200Kg/cm²、応力強度比（応力度/強度）では、それぞれ0.233, 0.465, 0.930である。材令28日硬化体については、50, 100, 200, 300Kg/cm²で、応力強度比では、0.125, 0.249, 0.499, 0.748となる。これらの応力は、負荷速度が1Kg/secで、所定値で10秒静止し、以後直ちに取り除いた。つづいて、これらの載荷履歴をもつ硬化体を、再び20℃の水中で3, 7, 28日間養生を行った。

2.3 微細構造

硬化体の375Åから75000Åまでの細孔径分布と全細孔容積は、水銀圧入式ポロソメータを使用して測定した。また、硬化体の微細組織は、走査電子顕微鏡にて観察した。

3. 実験結果及び考察

3.1 強度発現

材令7日硬化体の載荷後の強度発現は、図-1に示した。載荷後3日強度は、載荷の大きさにかかわらず無載荷のそれと同程度だが、載荷後28日強度は、応力強度比が0.930の場合に強度発現が良好で、無載荷硬化体の364Kg/cm²に対して、408Kg/cm²まで伸びる。

次に、材令28日硬化体の載荷後の強度発現は、図-2に示した。材令7日硬化体の場合と異なり、載荷後3日

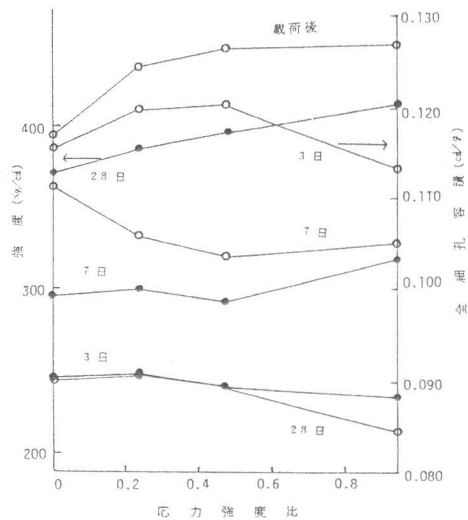


図-1 材令7日硬化体の載荷後の強度発現と全細孔容積

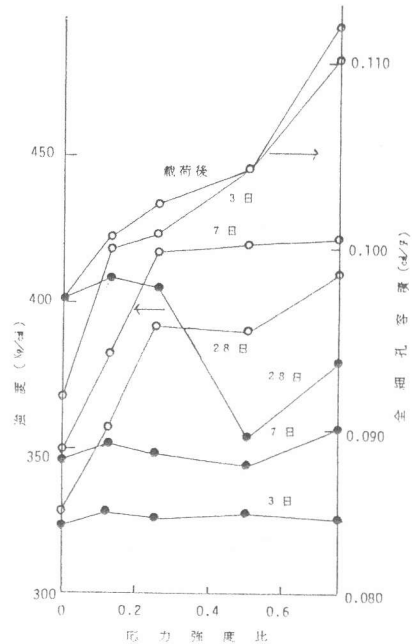


図-2 材令28日硬化体の載荷後の強度発現と全細孔容積

※現在は大同建設株式会社に勤務

強度は、載荷の大きさにかわら
ず、無載荷のものと同程度で、
330Kg/cm²前後を示す。しかしな
がら、材令の経過につれて載荷
の影響が現われ、載荷後28日
で、応力強度比が0.125と0.249の場
合には、無載荷のそれを僅かに上
廻る400Kg/cm²以上、一方、応力強
度比が0.499と0.748では351及び
378Kg/cm²を示す。

3.2 細孔径分布及び全細孔容積

材令7日硬化体の応力強度比
0.233と0.465の場合及び無載荷硬
化体の細孔径分布を図-3,4に
また全細孔容積は図-1示した。
載荷直後の細孔は、応力強度比
0.930の場合を含めて無載荷の
それに比較して、200Å前後と
1,015Å以上の細孔が増大し、
それに伴って、全細孔量も増大
する。しかしながら、以後の養生
につれて、ほぼ全細孔が減少
し、全細孔容積も減少する。こ
の場合、応力強度比が0.233の
場合375~750Å, 応力強度比
0.465の時は105~200Å, 応力
強度比が0.930の場合は270~
375Åの細孔が増大する。

次に、材令28日硬化体の応力
強度比0.125及び0.499及び無載
荷硬化体の細孔径分布は図-5,6
に全細孔容積は図-2に示した。
載荷による細孔径及び全細孔容
積の変化は、載荷の大きさによ

て特徴的で、応力強度比0.125の場合には、載荷直後と以後28日の硬化
体の細孔径分布の状態が、無載荷のそれとほとんど類似するが、載荷後3日、7日では、500Å前後の細孔が増
大している。次に、応力強度比0.249では載荷後75~200Å及び530Å以上の細孔が増大し、以後の養生によ
って後者は減少する。応力強度比0.499では、載荷直後は、270~375Åの細孔を除いて、ほぼ全部の細孔が増大する
が、養生期間の経過によって、270~530Åの細孔が急激に増大し、145~200Åのものが減少する。応力強度比
0.748では、載荷直後は375Å以上、また載荷後28日では53Å以上の細孔が増大している。なお、これら載荷硬

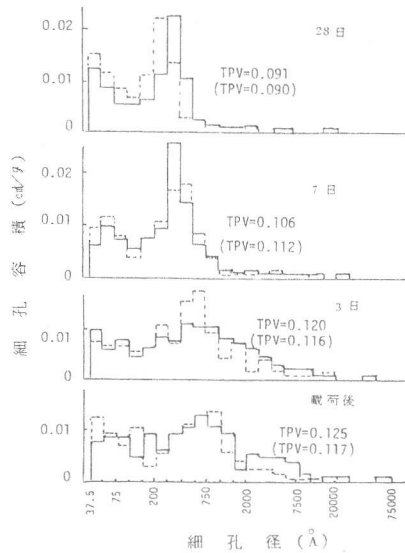


図-3 材令7日硬化体の応力強度比0.233 載荷後
(実線)と無載荷(点線)の場合の細孔径分布
()内のTPVは無載荷硬化体

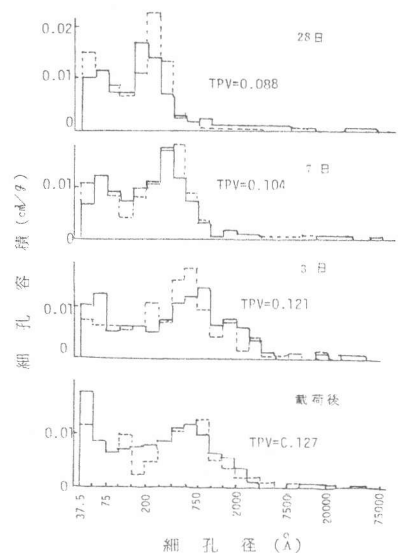


図-4 材令7日硬化体の応力強度比0.465 載荷後
(実線)と無載荷(点線)の場合の細孔径分布

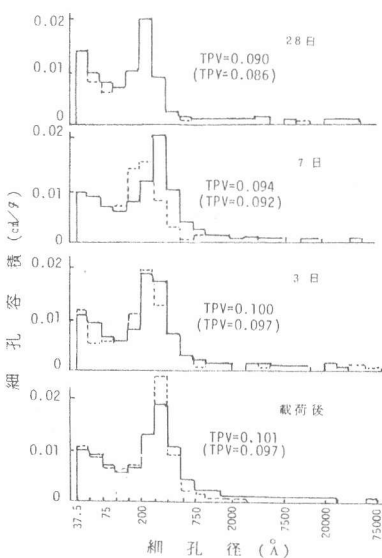


図-5 材令28日硬化体の応力強度比0.125
(実線)と無載荷(点線)の場合の細孔径分布
()内のTPVは無載荷硬化体

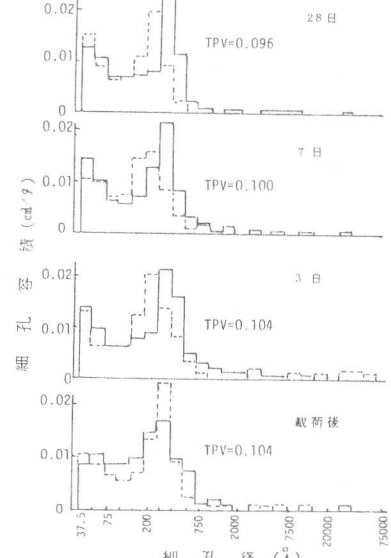


図-6 材令28日硬化体の応力強度比0.499
(実線)と無載荷(点線)の場合の細孔径分布

硬化体の全細孔容積は、無荷荷の同材令硬化体に比較し、いずれも大きくなっている。とくに応力強度比 0.748 で荷荷後28日硬化体の全細孔容積は、無荷荷のその約 115% である。

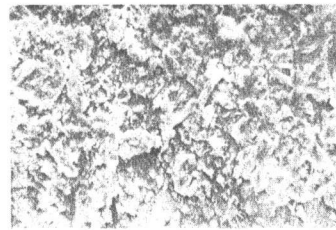
3.3 走査電子顕微鏡による観察

材令 7 日及び 28 日硬化体の荷荷後及び以後 28 日養生硬化体の SEM 写真を写真-1 にそれぞれ示した。材令 7 日硬化体については、荷荷の大小にかかわらず、荷荷によってセメント水和物粒子相互間の結合が弛緩した、一見浮き上がった感じを呈し、それに伴ってモルタルひびわれが空隙を連絡するように生成している。ひびわれは、長さ 20μ 、幅 1μ 以下である。しかしながら、以後の養生によって、上記弛緩構造とひびわれが徐々に消失し、荷荷後28日養生硬化体では、無荷荷のものに比較して、同程度または、より緻密組織を形成する。

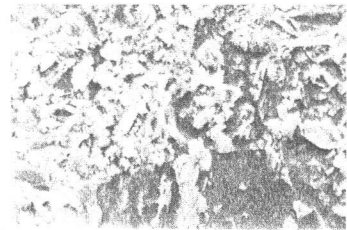
一方、材令 28 日硬化体については、荷荷直後は、荷荷によって、弛緩構造を呈するが、そのほか応力強度比 0.125 では、微細ひびわれが不連続状に、また応力強度比が 0.249 では、それらが連続して網状に発達し、応力強度比 0.499 以上では、ひびわれ幅の増大と一部水和物の粒内破壊も観察される。次に、荷荷後 28 日養生硬化体については、応力強度比 0.125 と 0.249 では、ひびわれが一部にみられるが、弛緩構造が消失し、緻密化がみられる。しかしながら、応力強度比 0.499 及び 0.748 の硬化体では弛緩構造が残り、緻密化もあまり進まず、幅 2μ 程度の微細ひびわれが連続して残存している。

3.4 強度と微細構造との関係

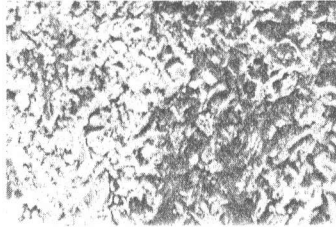
強度と全細孔容積との関係は、次式によって示される。



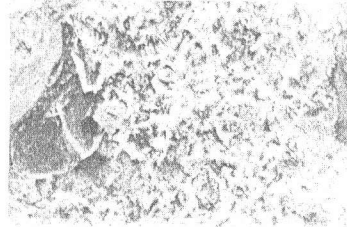
材令 7 日無荷荷



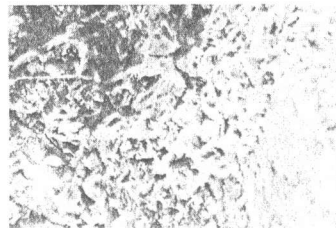
材令 7 日無荷荷、後 28 日養生



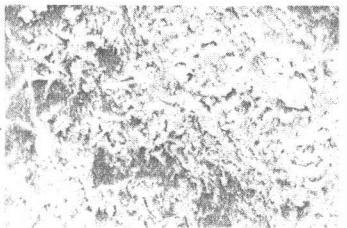
材令 7 日、応力強度比 0.233 荷荷後



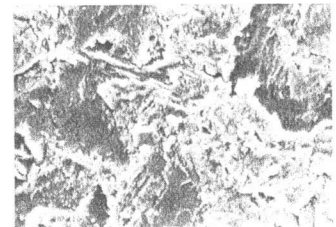
材令 7 日、応力強度比 0.233、28 日養生



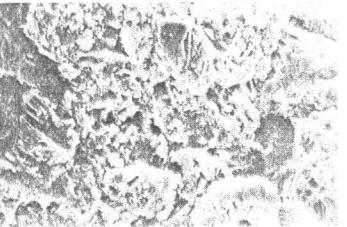
材令 7 日、応力強度比 0.465 荷荷後



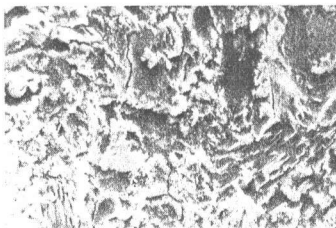
材令 7 日、応力強度比 0.465、28 日養生



材令 28 日無荷荷



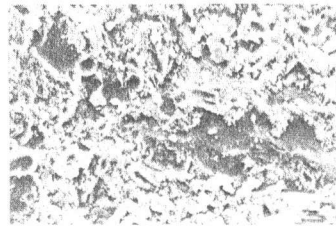
材令 28 日無荷荷、後 28 日養生



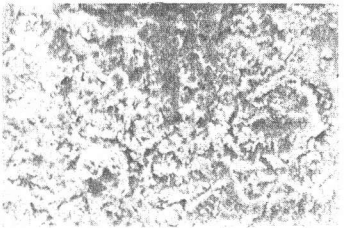
材令 28 日、応力強度比 0.125 荷荷後



材令 28 日、応力強度比 0.125、28 日養生



材令 28 日、応力強度比 0.4999 荷荷後



材令 28 日、応力強度比 0.4999、28 日養生

写真-1 硬化体の SEM 写真

20 μ L

$$\sigma = DI_n \frac{P_{CR}}{P}$$

σ = ポロシターが P の時の強度

P_{CR} = ポロシターが 0 の時の強度

D = コンスタント

図 7 及び 8 から明らかなように、材令 7 日硬化体の場合には、荷重によって全細孔容積が増大するか、以後の養生によって減少に向い、それに伴って、強度も増大してくる。このことは、材令 7 日硬化体に対する応力強度比が 0.233~0.930 の一時荷重は、セメント水和物粒子相互間及びセメント水和物と骨材間の結合性を弱め、一部を破壊し、ひびわれを生成させ、さらに毛細管空隙を増大させるが、その後の養生によって、それらの結合性や付着性が再び強められ、さらには空隙が充填されるものと考えられる。すなわち結果として、無荷重硬化体よりも緻密な強度の大きい硬化体が生成する。この場合、 20\AA 程度以下と考えられるゲル空隙も減少しているであろう。次に材令 28 日硬化体については、荷重は、荷重後 7 日まで、強度低下と全細孔容積の増大を齎すが、28 日養生では、応力強度比 0.125 及び 0.249 荷重の場合、全細孔容積が無荷重のそれよりも大であるにもかかわらず、強度は同程度に回復する。一方、応力強度比 0.499 と 0.748 荷重の場合、強度と全細孔容積との関係が不規則で一様ではなく、28 日養生でも、無荷重のそれまで回復しない。これらの結果は、硬化体組織の弛緩、微細ひびわれの発生、セメントの水和による修復機能、さらに強度発現に寄与する細孔の役割などについて、極めて興味ある問題を提示している。

4. 結 論

1) 材令 7 日硬化体に対して、応力強度比 0.233~0.930 の荷重を行った場合、荷重直後は強度の低下がみられるが、荷重後 28 日養生では、無荷重のそれよりも強度が大となり、緻密化が進行する。材令 28 日硬化体については、応力強度比 0.125 と 0.249 の荷重では、荷重後 28 日養生で、全細孔容積が大にもかかわらず、無荷重のそれと同程度に回復するが、応力強度比 0.499 と 0.748 では、荷重後 28 日養生でも強度発現が低下し、全細孔容積も無荷重のそれに比して大きい。

2) 材令 7 日及び 28 日硬化体は、応力強度比 0.233 と 0.125 以上のそれぞれの一時荷重によって、セメント水和物粒子間及び水和物と骨材間の弛緩、それに伴う微細ひびわれを生ずるが、前者では応力強度比 0.930 後者では応力強度比 0.249 以下の荷重であれば、荷重解放後の水中養生によってそれらが消失するようになる。これら微細構造は、強度発現と密接に関係し、特に 3.75\AA から 75.000\AA までの細孔変化の把握が有効である。

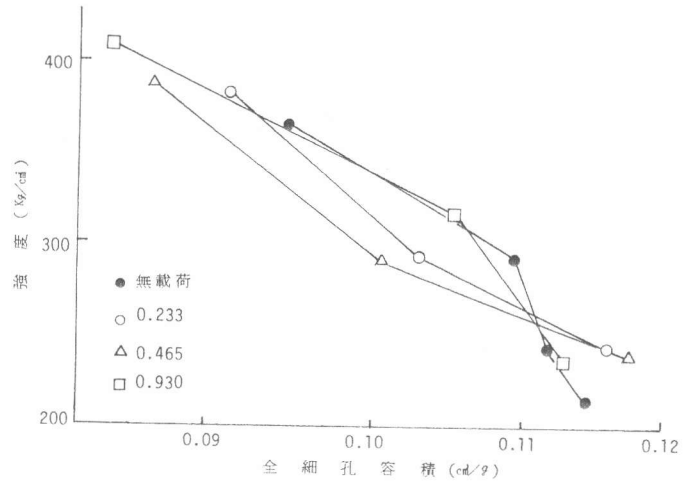


図-7 材令 7 日硬化体の荷重後の強度と全細孔容積

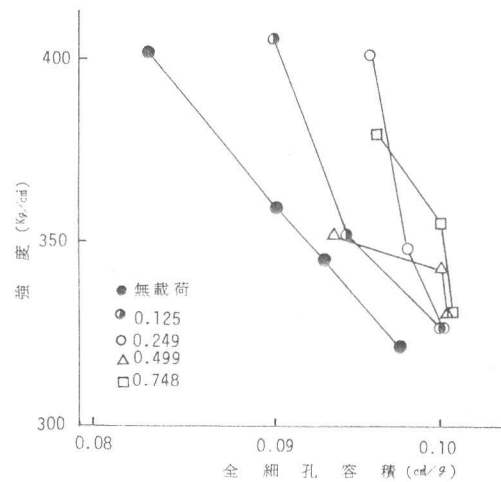


図-8 材令 28 日硬化体の荷重後の強度と全細孔容積