

# モルタルの表層強度とその試験法

前 川 静 男\*

## Strength of Mortar in Surface Layer and Its Test Method

Shizuo MAEKAWA

### 要 旨

モルタルの表層強度を求めるために3種類の試験方法を試みた。特にこのうちの一つ押抜き試験についてその有効性を検討した。

### Abstract

Three test methods for measuring surface layer strength of mortar were compared. Especially, reliability of the pushout test method was investigated.

### 1. ま え が き

コンクリートの表層部は気象作用や化学作用を直接受ける部分であり、耐久性に重要な役割を持つ。とくに凍害による表面剝離について考えると、剝離しやすいのは表面から数 mm の深さの部分であるから、この部分の強度、耐久性などの諸性質を知ることは剝離抵抗性改善のために有用なことである。

このような目的でコンクリートの表層部分あるいは小寸法の試験体の強度を求めようとする研究は幾つか発表されており、大別すると

- (1) 鋼製円板などを埋込んで引抜いたり、あるいは内圧を与えて押抜く方法
  - (2) 小寸法の内柱体を作成して圧縮試験をする方法
  - (3) 大きな供試体の一部を切出して圧縮試験をする方法
- などがある。

この研究はコンクリートの表層強度を求める適切な試験方法を求めることを目的としたものである。対象とした試験方法は引抜き試験、押抜き試験、折曲げ試験の3つであり、その信頼性、難易性などを比較するために一連の実験を行った。とくに、このうちの押抜き試験方法について重点を

置いてその有効性を検討した。

### 2. 表層強度の試験方法の比較

#### 2.1 概要

取上げる試験方法の必要条件は、特殊な試験機を用いずにできること、試験用具は市販の材料でできること、コンクリートの表面から最小 2 mm の位置の強度性状を試験できるものであることとした。その結果、次の3つの試験方法を検討対象とした。

#### (1) 引抜き試験

図1のように直径 22 mm の鋼製円板(実際はワッシャを使用)を表面からの深さが 2 mm になるようにモルタル中に埋込み、ボルトを介して引抜くものであって、引抜き力を測定して強度性状を評価しようとするものである。これは pullout test と言われて実施コンクリートの強度を推定するために1930年代から研究されていたものであって、現在は ASTM C900 に規定されており、最近でも国の内外で研究成果が発表されている。しかし、これは表層強度を求めるのが本来の目的でないので、実施例を見ると鋼製円板の埋込み深さは 25~50 mm 位が普通である。

頂角は研究者によって異なっており、ASTM では 54°~70° の範囲を定めている。ここでは Malhotra<sup>1)</sup>の研究を参照して頂角を 67° とした。

\* 教授 土木工学科

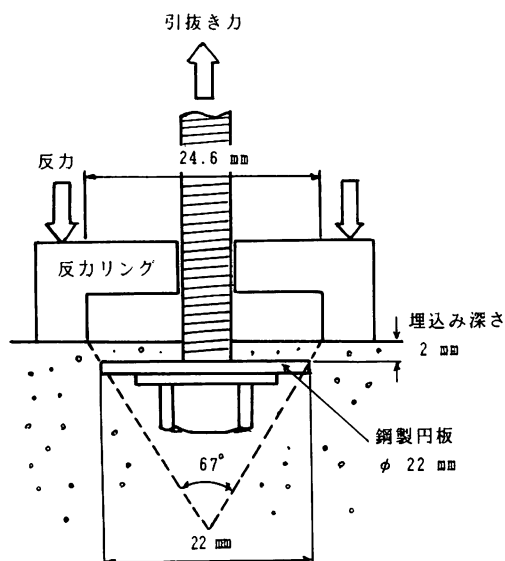


図1 引抜き試験装置の概略図

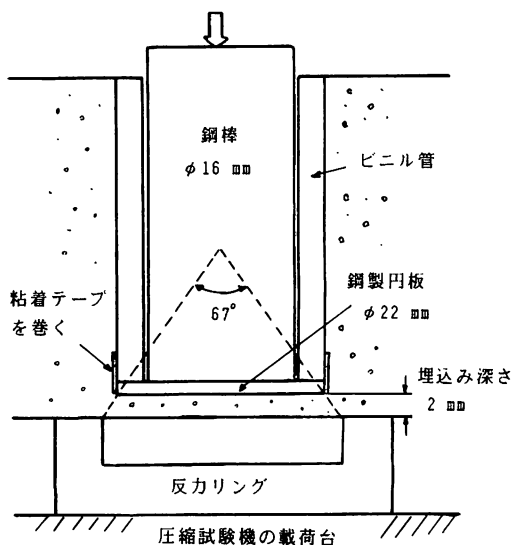


図2 押抜き試験装置の概略図

## (2) 押抜き試験

原理は(1)の引抜き試験と全く同じである。図2のように直径 22 mm の鋼製円板(ワッシャの穴をエポキシ樹脂で埋めたもの)を硬質塩化ビニル管の先端に据付けてモルタル中に埋込み、圧縮試験機で鋼棒を介して押抜くものである。

## (3) 折曲げ試験

厚さ 4 mm、幅 4 cm、長さ 15 cm の平板状のモルタル供試体を作成し、曲げ試験を行い、曲げ強度により薄いモルタルの強度性状を評価しようとするものである。

## 2.2 実験方法

### (1) 供試体

セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。細骨材は鶴川産の砂で 1.2 mm ふるいを通るものを用いた。モルタルの配合は水セメント比 50%で、セメント砂比は 1:1.9 とした。

引抜き試験用供試体は、10×10×40 cm の鋼製型わくを合板で長さ方向に仕切って厚さ 5.8 cm になるようにした。1本の供試体につき鋼製円板は中心間隔を 7.5 cm とし 5 個埋込んだ。

押抜き試験用供試体は、10×10×40 cm の鋼製型わくを合板で仕切って、面が 7.3×8 cm、厚さ 4 cm の寸法のものを作成した。

折曲げ試験用供試体は、4×4×16 cm の型わくを鉛直に長さ方向に仕切って厚さ 4 mm の平板状のものを作成した。

各試験ともモルタルの打込みは、強度試験に用いるときの面が鉛直になる方向とし、供試体の個数は 1 種類の試験方法について 18~30 個が得られるように 3 回に分けて製作した。しかし、不良品があって計画より少なくなったものがある。翌日脱型し 28 日間 20℃ の水中養生を行った。

なお、同配合のモルタルで 4×4×16 cm の供試体を作り、曲げおよび圧縮試験を行った結果、曲げ強度 80 kgf/cm<sup>2</sup>、圧縮強度 431 kgf/cm<sup>2</sup>であった。

### (2) 強度試験

引抜き試験は図 1 の概略図に示すように反力リングをセットし、ミハエリス試験機によりボルトを引張り、引抜き力を求めた。

押抜き試験は手動油圧式のモルタル強さ試験機(最大荷重 500 kgf)を用いた。力量はリングに加わるたわみをダイヤルゲージで測定することにより求めるものである。

折曲げ試験は支間 10 cm とし中央にバケットを吊して散弾を徐々に載荷して行った。

## 2.3 結果と考察

各試験の結果は表 1 のようになった。

引抜き強度および押抜き強度は荷重を抜けたコーンの周面積で除したものである。周面積は、コーンの上面の直径を 22 mm、底面の直径を反力リングの直径と同じ 24.6 mm とし、高さは実測した最大および最小値の平均を用いて算出した。

表1 強度の平均と変動

| 試験の種類 | 平均強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 標準偏差<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>(%) | 個数 |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|----|
| 引 抜 き | 88.9                           | 29.0                           | 32.2        | 24 |
| 押 抜 き | 37.8                           | 12.4                           | 32.8        | 18 |
| 折 曲 げ | 68.2                           | 14.3                           | 20.9        | 10 |

折曲げ強度は破壊曲げモーメントを実測した断面係数で除して求めた。

まず引抜き試験と押抜き試験について検討する。この2つの試験方法による強度の変動係数はほぼ等しく、30%を越える大きな値となった。変動が大きい原因としては、埋込み深さが2 mmと薄いため作るときに欠陥が生じやすいこと、モルタルの内部の欠陥が試験部分に比べて相対的に大きいことため強度に与える影響が大きいことが考えられる。

埋込み深さは2 mmを目標にしたが引抜き試験では1.68～3.03 mm、押抜き試験では1.65～3 mmに変動した。これは引抜き力あるいは押抜き力に影響を与えるが、強度は周面積当りで求めているので埋込み深さの誤差の影響は一応除かれている。しかし、埋込み深さが変われば頂角が変化することになり、これが強度に影響することは後述するとおりである。

押抜き強度は引抜き強度の約40%で、4×4×16 cmのモルタルに比べても46%と小さい値であった。この理由としては、引抜き試験では埋込んだ鋼製円板にグリスを塗ったがモルタルとの付着があったのではないかということや、押抜き試験では鋼製円板をビニル管に固定するために両者の周面に粘着テープを巻いたことが鋼製円板の拔出し抵抗を少なくし、押抜き力に影響したことなどが考えられる。以上のことから、引抜き試験、押抜き試験とも埋込み深さが2 mmでは強度の変動が大きいので、試験の信頼性を増すためには試験個数を増やすことが必要であるといえる。

折曲げ試験は、供試体作成時にモルタルが十分に行き渡っていなかったり、脱型時に折損したなどにより10個しか試験できなかったが、強度の変動は他の2試験方法よりも小さかった。供試体製作および強度試験とも最も簡単であり、多少の改善をすればモルタル表層部の強度性状を評価する手段となる可能性がある。

### 3. 押抜き試験の有効性に関する検討

押抜き試験の方が引抜き試験に比べて使用器具

がより一般的であり、筆者の実験室では利用しやすかったので、この方法がコンクリートあるいはモルタルの表層強度を評価する手段として有効かどうかを探るために幾つかの実験を行ったので、そのうちの主要なものについて述べる。

#### 3.1 供試体の所要最小寸法

押抜き試験に用いる供試体の寸法は小さい方が便利であるが、小さ過ぎると埋込んだ鋼製円板との縁端距離が不足し、押抜き力が低下するようになる。そこで押抜きに影響を与えないような供試体の最小寸法について検討する。

実験に用いた供試体の寸法は4種類であるが、これを埋込んだ鋼製円板の縁端からモルタル面までの距離（純縁端距離という）の大小により大型と小型とに分ける。大型のものは3種類あり、10×10×40 cmの型わくを使用し、これを合板で適宜仕切りをして、試験面の小さい方の寸法を7.3～10 cm、厚さを4～5 cmとした。埋込み深さは2, 4, 6, 10 mmであり、このときの鋼製円板の純縁端距離は2.6～3.9 cmであった。

小型のものは4×4×16 cm 1種類であり、これに鋼製円板を3個埋込んだ。埋込深さは2, 4, 6 mmで、純縁端距離は0.9 cmであった。

大型供試体と小型供試体とで押抜き力に差が生じるかどうかを示したのが図3である。これによると、押抜き力が約100 kgfを越えると小型供試体の押抜き力は大型供試体のそれを下回った。押抜き力100 kgfというと埋込み深さ2 mmとしても高強度のモルタルではこれを越えてしまうので、断面が4 cmの小型型わくを用いて供試体を作るのはとくに低強度のとき以外は適当でない。埋込み深さが2 mmのとき外観に何ら異常は認められなかったが、このように押抜き力に影響を与えることがあるので注意が必要である。大型供試体で純縁端距離を3.9 cmとすると埋込み深さ10 mmとしても異常は生じなかった。以上のことから、押抜き試験用の供試体の一辺の長さは、埋込み深さが2～10 mmの範囲では7～10 cm以上とするのがよい。

#### 3.2 頂角

押抜き試験の頂角は引抜き試験に関して Malhotra が提唱している67°をそのまま踏襲した。頂角を67°とすると、埋込み深さ2 mmのときは埋込んだ鋼製円板と反力リングの半径差が(24.6-22)/2=1.3 mmしかなく、両者の中心のずれが大きく

なると押抜きでなく押潰しのような破壊になり変動を大きくすると思われる。したがって、頂角を大きくした方が反力リングを据付ける位置の許容範囲が広くなり有利になるのではないかと考えて頂角を  $90^\circ$  として実験を行った。

埋込み深さは 2 mm および 4 mm の 2 種類、頂角は  $67^\circ$  と  $90^\circ$  の 2 種類とした。モルタルの配合は早強ポルトランドセメントを用い、水セメント比を 50%，セメント砂比は 1：2 とした。養生は水中で 14 日間行った。同一条件の試験個数は 8 個とした。結果は表 2 に示す。

押抜き強度は頂角が大きい方が小さかった。変動係数は埋込み深さ 2 mm では頂角の大きい方が小さかったが、4 mm では逆の結果になった。これだけでは資料数が少ないのでいずれが有利か確言できないが、文献 2) の引抜き試験では頂角が  $54^\circ \sim 86^\circ$  の範囲では頂角が大きいほど引抜き力が小さくなること、変動（標準偏差）はあまり変わらないこと、頂角が  $54^\circ$  より小さくなると変動は大きくなることなどを述べている。これらを勘案すると、押抜き試験の頂角を大きくするよりも  $67^\circ$  程度にして、反力リングの据付けを正しい位置に簡単にできるように工夫する方が試験の精度向上のために有効と思われる。

表 2 押抜き試験における頂角の影響

| 埋込み深さ | 頂角         | 押抜き強度の平均 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 標準偏差 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 変動係数 (%) | 個数 |
|-------|------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|----|
| 2 mm  | $67^\circ$ | 63.0                            | 14.7                        | 23.3     | 9  |
|       | $90^\circ$ | 49.1                            | 10.8                        | 22.0     | 9  |
| 4 mm  | $67^\circ$ | 76.8                            | 8.5                         | 11.1     | 8  |
|       | $90^\circ$ | 53.9                            | 12.6                        | 23.4     | 8  |

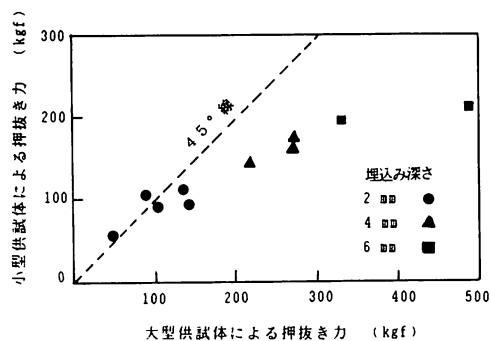


図 3 大型供試体と小型供試体による押抜き力の相違

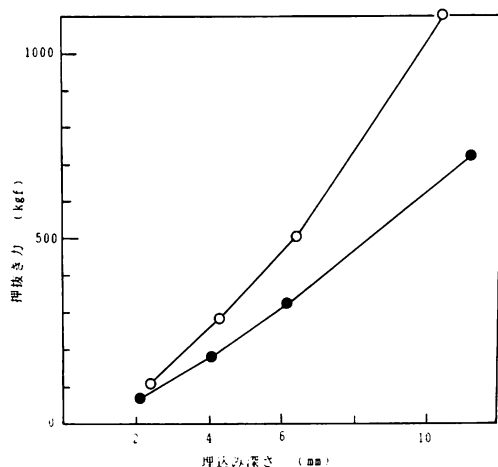


図 4 埋込み深さと押抜き力の関係

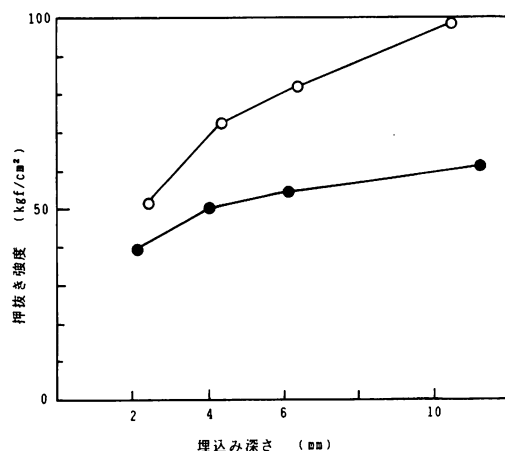


図 5 埋込み深さと押抜き強度の関係

### 3.3 埋込み深さと押抜き力、押抜き強度との関係

埋込み深さを変え強度レベルを 2 段階として押抜き試験を行った。モルタルの水セメント比は 50% および 60% とし、水中養生を行ってそれぞれ材齢 28 日と 14 日で強度試験をした。結果を図 4 および図 5 に示す。

図 4 によると、押抜き力は埋込み深さが増すと曲線的に増加するが、2～6 mm の範囲では直線変化と見てよい。埋込み深さと押抜き強度の関係は図 5 のようになり、押抜き強度は単位周面積当りで一定ではなく深さの増大とともに若干大きくなることが分った。

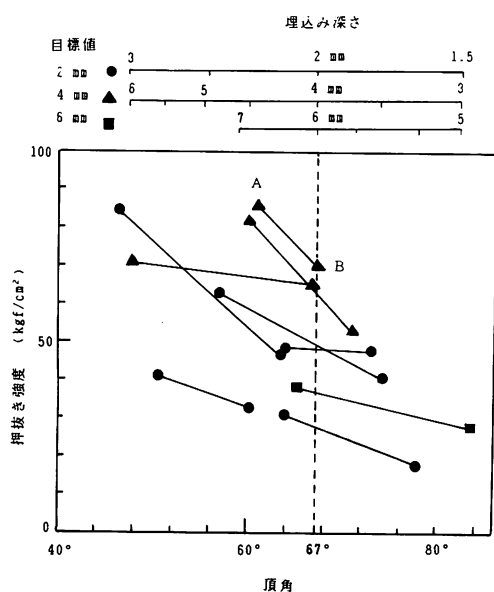


図6 埋込み深さが目標値と異なるときの頂角と引抜き強度の変化

### 3.4 埋込み深さの誤差が引抜き強度に与える影響

3.2および3.3では引抜き強度に与える頂角および埋込み深さの影響を別個に検討した。本節では供試体製作上の誤差で埋込み深さが変動した場合のことを考える。例えば、埋込み深さ2mmを目標にして製作したところ、実測値が3mmになったというような場合であって、反力リングは2mm用のものであるから、実際の頂角は67°ではなく約48°となり、引抜き強度に影響を与えることになる。このことを確かめるために作成したものが図6である。

ここに用いたデータはこの目的のために計画的に実験したものではなく、埋込み深さのばらつきが大きかったものや、錯誤によって反力リングを取り違えたものなどを集めたものである。これらのデータを同一試験条件ごとに実測埋込み深さの大きいグループと小さい2グループとに分け、埋込み深さと引抜き強度との関係をプロットした。1つのグループには2～6個の試験値を含むようにした。

図6のA点について説明すると、これは埋込み深さが大きかったグループで、埋込み深さ4mmを目標にして製作したが実測深さは平均4.45mmになり、そのときの引抜き強度の平均値が88 kgf/cm<sup>2</sup>であったこと、頂角を計算すると61°になっていた

ことを示している。同時に試験した埋込み深さが小さかったグループがBである。線が右下がりということは、引抜き強度は埋込み深さが大きいほど、また頂角が小さいほど大きくなるということを示している。この図は埋込み深さが目標値と異なったときの引抜き強度の補正に用いられるものであるが、補正の数値を確定するためには更にデータの蓄積を要する。

### 3.5 引抜き試験の変動

埋込み深さ別の引抜き強度の変動状況を調べるために、同一条件で試験した個数が6個以上のものについてまとめた結果を表3に示す。なお、一部は表1および表2と重複している。

表3 引抜き試験における頂角の影響

| 埋込み深さ | 引抜き強度の平均(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 標準偏差(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 変動係数(%) | 個数 | 摘要    |
|-------|--------------------------------|----------------------------|---------|----|-------|
| 2 mm  | 37.8                           | 12.4                       | 32.8    | 18 | *1 表1 |
|       | 79.8                           | 19.3                       | 24.2    | 8  | *2    |
|       | 63.0                           | 14.7                       | 23.3    | 9  | *2 表2 |
|       | 39.0                           | 13.2                       | 33.8    | 6  | *3    |
|       | 51.6                           | 15.6                       | 30.2    | 6  | *4    |
| 4 mm  | 76.8                           | 8.5                        | 11.1    | 8  | *2 表2 |
|       | 50.0                           | 8.3                        | 16.6    | 6  | *3    |
|       | 72.3                           | 13.4                       | 18.5    | 6  | *4    |
| 6 mm  | 53.5                           | 9.8                        | 18.3    | 6  | *3    |
|       | 82.0                           | 7.2                        | 8.8     | 6  | *4    |
| 10mm  | 61.8                           | 9.8                        | 15.9    | 6  | *3    |
|       | 99.0                           | 13.4                       | 13.5    | 6  | *4    |

\*1 W/C=60% 水中28日 普通セメント

\*2 W/C=50% 水中14日 早強セメント

\*3 W/C=60% 水中14日 普通セメント

\*4 W/C=50% 水中28日 普通セメント

埋込み深さ2mmのときに標準偏差、変動係数とも最も大きい、4mm以上ではかなり小さくなり、変動係数は10%台となった。類似の研究をみると、Bickley<sup>2)</sup>は、実験室で行った埋込み深さを25mmとしたコンクリートの引抜き試験の変動係数は3～5%であり、円柱供試体の圧縮強度と同程度の変動であったと述べている。また、stoneら<sup>3)</sup>は標準偏差で表していて変動係数は示していないが、埋込み深さ12mmのときの変動係数はおよそ10%程度のものである。今回の結果は埋込み深さが比較的薄いことを考慮しても変動が大きく、実用化のためには変動を小さくすることが最も必要なことである。

#### 4. ま と め

コンクリートあるいはモルタルの表層部分の強度を測定する方法として、埋込んだ鋼製円板を引抜く pullout test が知られている。これを参考にし、押抜きにより表層の強度性状を評価できないかと考えて実験を行った。押抜き試験の特徴は次のとおりである。

- (1) 反力リングのほかは特別な試験器具は不用で、圧縮試験機と市販の材料を用いて実施可能である。
- (2) 引抜き試験のボルトのように表面に突出物がないので長期間にわたる試験には都合がよい。
- (3) 鋼製円板の埋込み深さを 2 mm とすることも可能であるが押抜き強度の変動は大きい。4 mm にすると変動係数は 10% 台になり実用の可能性がある。変動を考慮して試験個数は 6 個以上とするのが望ましい。
- (4) 鋼製円板の埋込み深さが目標値と異なると、頂角が変化し試験値の変動を増す原因となるので製作には正確を期す必要がある。また、反力リングを、埋込んだ鋼製円板の中心に正確に合わせて据付けことが精度の向上のために必要であり、これらが多少の工夫を要する点である。
- (5) 埋込み深さが大きくなれば埋込む鋼製円板の剛性を今回用いたものよりも大きくする必要がある。
- (6) 本試験方法は小型供試体によりコンクリート

あるいはモルタルの表層強度を調べるのが目的であり、pullout test のように実施コンクリートの強度を推定する用途には適しない。

- (7) 押抜き力が引抜き試験における引抜き力に比べて小さかった。押抜き力が小さいことは標準偏差が同じとしても変動係数が大きくなり不利である。これが押抜き試験方法の不備によるものかどうか今後検討したい。

試験の実施に当たり本校卒業生の徳永修一、坪井勝法、布施則幸、山岸哲也、小野勲、藤部隆の諸氏の協力を得たので謝意を表わす。

#### 参 考 文 献

- 1) Malhotra V. M., "Evaluation of the Pull-Out Test to Determine Strength of In-Situ Concrete," Materials and Structures/Research and Testing (RILEM), Vol. 8, No. 43, 1975
- 2) Bickley J. A., "The Variability of Pullout Test and In-Place Concrete Strength," ACI Concrete International; Design & Construction, Vol. 4, Apr. 1982
- 3) Stone W. C. and Giza B. J., "The Effect of Geometry and Aggregate on the Reliability of the Pullout Test," ACI Concrete International, Vol. 7, No. 2, Feb. 1985

(昭和63年11月30日受理)