

## [34] モルタル-粗骨材およびコンクリート-鋼材の界面特性

正会員 ○岡島達雄 (名古屋工業大学工学部)  
岡田謙二 (河合松永建築事務所)

### 1. 序

コンクリートは、モルタルと粗骨材で構成される混合複合材である。コンクリート構造物も、コンクリートと鋼材が一体となってつくられる複合材である。これらの複合材は、二つの構成材の特長を生かしながら、短所を相補し、一体となって外力に抵抗する。このような複合材の力学的挙動を知り、安全で経済的な設計をするにはそれぞれの構成材の特質を十分知ると同時に、構成材界面の性質をも理解しなければならない。これまで界面性状は、付着特性として捉えられ、主として引張付着強度およびせん断付着強度として把握されてきた。

本研究では、モルタル-粗骨材およびコンクリート-鋼材の界面特性を、(1)界面に垂直に圧縮あるいは引張応力を受けた状態での界面に平行に作用するせん断応力の最大値と考え、種々の直応力下のせん断付着強度を実験的に求め、(2)付着が破壊された後の直圧縮応力下での摩擦抵抗力を実験的に求め、(3)最後に、これらを定式化し界面特性の総合的理解を深めんとしたものである。

### 2. 界面特性に対する考え方

岩石における節理面あるいは、断層のような弱い面での破壊条件は、 $\sigma$ ,  $\tau$  をその面での垂直応力およびせん断応力とすると、Coulomb-Navierの法則により

$$\tau = C + \sigma \tan \phi \quad \dots \dots \dots (1)$$

となる。ここに、C は粘着力、 $\tan \phi$  は内部摩擦係数である。

また、2つの面が互いに滑ると固体摩擦のAmontonの法則により

$$\tau = \sigma \tan \phi' \quad \dots \dots \dots (2)$$

が成立する。ここに、 $\tan \phi'$  は滑り摩擦係数である。

ここで、(1)式中の $\phi$  は(2)式中の $\phi'$  に等しいと考えると次式が成立する。

$$\tau = C + \sigma \tan \phi' \quad \dots \dots \dots (3)$$

すなわち、弱い面のある固体物質の滑りせん断強度は、その面における物質の粘着力に、その面の直応力と滑り摩擦係数の積を加えたものになると考える。

### 3. 実験方法

#### 3. 1 概要

モルタルあるいはコンクリートの中空円筒の一端に、骨材に相当する岩石板あるいは鋼材に相当する鋼板を打設時に付着させ、これらの板を固定し、中空円筒の他端に軸力とねじりモーメントを作用させ、付着強度を求めるものである。

#### 3. 2 供試体

##### (1) モルタル-粗骨材供試体

外径 150 mm、内径 100 mm、高さ 98 mm のモルタル中空円筒と、1辺 170 mm、厚さ 34 mm の正方形岩板で構成される。モルタルの水セメント比は 3.5 および 4.5 % の 2 種類、砂セメント比はいずれも 2 であった。

セメントは、O 社製普通ポルトランドセメント、細

表 - 1 細骨材の物理的性質

最大粒径 (mm)	比 重	吸 水 率 (%)	F . M .	单 容 量 (kg/m³)
2.5	2.59	1.16	2.70	1.340

表 - 2 粗骨材の物理的性質

最大粒径 (mm)	比 重	吸 水 率 (%)	F . M .	单 容 量 (kg/m³)
12	2.60	0.70	6.29	1.655

骨材は、表-1に示すような揖斐川産と木曾川産の混合砂を使用した。石板は吸水率0.47%の花崗岩とした。花崗岩のモルタルに接する表面は、大鋸挽放しとした。板は十分吸水させ、打ち込み直前にその表面の水分を布で拭った。打ち込み方向は、ブリージングによる影響を出来るだけ少くするため、円筒軸と直角、横打ちとし、テーブル型バイブレータを使用して入念に行った。打ち込み後材令1日まではモールドおよび固定治具をつけたまゝ湿布養生し、脱型後材令2日から材令27日まで26日間水中養生（温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ）し、実験材令28日までの1日間を湿布養生した。この間供試体上下に載荷用治具をエポキシ系接着剤で固定した。

### (2) コンクリート-鋼材供試体

外径150mm、内径100mm、高さ275mmのコンクリート中空円筒と、外径150mm、内径100mm、厚さ25mmの鋼板リングで構成される。コンクリートの水セメント比は7.5%、セメント、砂および砂利の比は、1:3.09:4.63であった。

セメントおよび砂は、前項と同様のものを、粗骨材は、表-2のような瀬戸産玉砂利を使用した。鋼板リングは、厚さ28mmのSS41から機械加工により上記寸法、形状に作製した。黒皮面をコンクリート付着面とし、他面には、固定用のネジ孔を4ヶ所設けた。打ち込み直前、鋼板リング黒皮面をアセトンで拭き、中空モールドの底部に挿入、治具で固定した。ブリージングによる影響を少くするためスランプを1.5cmと小さくして、立て打ちとし、バイブルーターにより入念に締め固めた。打設後、恒温室内で28日間湿布養生を行った。

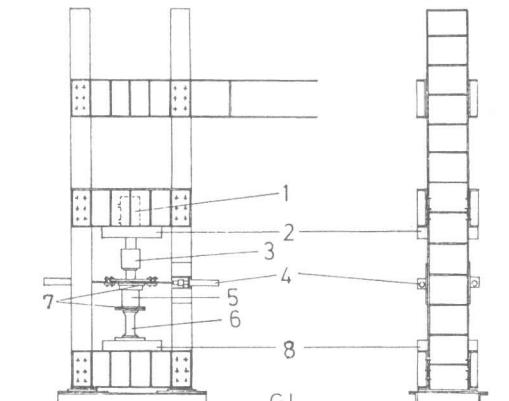
### 3.3 載荷方法

載荷装置の概要を図-1に示す。軸力、ねじりとも供試体の下端を固定し、上端を載荷する。その反力は上下部を固定した2本のH型柱で受ける。軸力は、1の油圧押引ジャッキから、3の球座を通して供試体に伝達され、ねじりは、図-1Cのように一対の油圧引ジャッキで円板を回転させることによって与えられる。荷重は、供試体下部に設置したロードセルによって、電気的に検出する。<sup>1)</sup>

載荷は、まず軸力を加え、これを一定に保ったまゝねじりモーメントを加えるものと、ねじりモーメントを加えるものとの2方法を採用した。勿論、摩擦抵抗力を求めるものは、前者の方法のみを用いた。

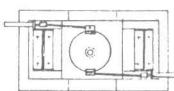
### 4. 実験結果とその考察

図-2に、モルタル-粗骨材の付着強度を、図-3にその摩擦抵抗力を、図-4に、コンクリート-鋼材の付着強度を、図-5にその摩擦抵抗力を示す。図中の $\sigma$ および $\tau$ は、それぞれ界面に対する垂直応力とそれに対応する平均せん断応力の最大値（せん断強度）である。また4図とも、縦・横軸とも、 $\sigma$ 、 $\tau$ を標準圧縮強度 $\sigma_c$ で



a. Front view

b. Side view



c. Plan view

- 1 Hydraulic jack
- 2 Upper plate
- 3 Spherical block
- 4 Hydraulic jack
- 5 Specimen
- 6 Load cell
- 7 Bearing plate
- 8 Lower plate

図-1 載荷装置の概要

無次元化して示した。

ここに、モルタルの標準圧縮強度  $\sigma_c$  および引張強度  $\sigma_t$  は、水セメント比 3.5% のもので 517, 49.9 kg/cm<sup>2</sup>、水セメント 4.5% のもので 482, 33.3 kg/cm<sup>2</sup>、またコンクリートのそれらは、195, 21.3 kg/cm<sup>2</sup> であった。

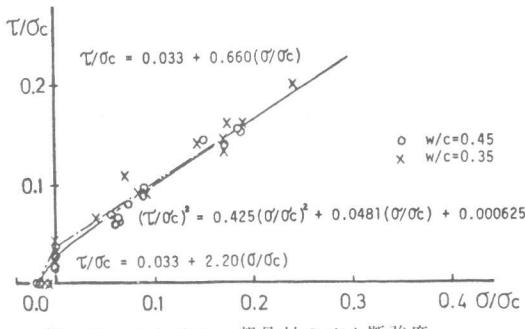


図-2 モルタル粗骨材のせん断強度

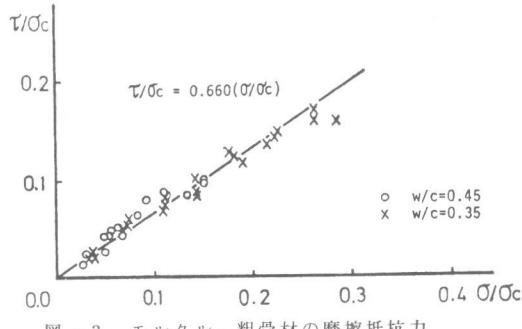


図-3 モルタル粗骨材の摩擦抵抗力

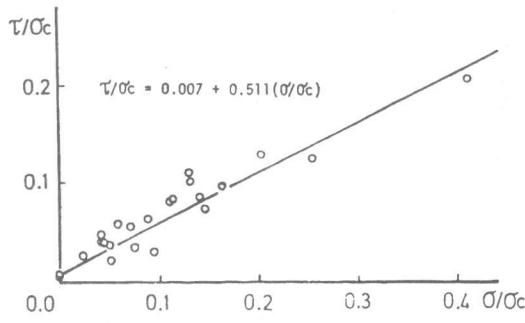


図-4 コンクリート鋼材のせん断強度

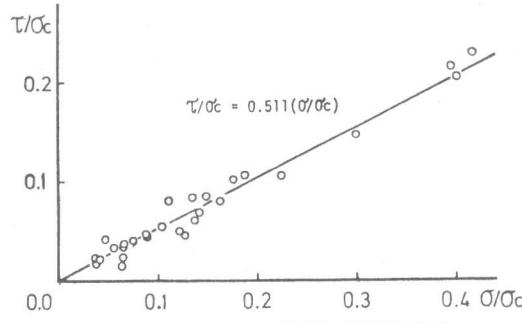


図-5 コンクリート鋼材の摩擦抵抗力

モルタル粗骨材の摩擦抵抗力は、水セメント比によらず直線式(4)で示すことができる。

$$(\tau/\sigma_c) = 0.660 (\sigma/\sigma_c) \quad \dots \dots \dots (4)$$

この滑り摩擦角は約 33° である。

付着強度におよぼす水セメント比の影響はほとんどなく、内部摩擦角は滑り摩擦角と一致し、その大きさは約 33° である。

圧縮せん断付着強度は粘着力点をとおり、滑り摩擦角を勾配とする直線式(5)

$$(\tau/\sigma_c) = 0.033 + 0.660 (\sigma/\sigma_c) \quad \dots \dots \dots (5)$$

で、また引張せん断付着強度は、粘着力点と引張付着強度点をむすぶ直線式(6)でそれぞれ近似できる。

$$(\tau/\sigma_c) = 0.033 + 2.22 (\sigma/\sigma_c) \quad \dots \dots \dots (6)$$

圧縮せん断付着強度と引張せん断付着強度を微分可能な一つの曲線で表わせば(7)式となる。

$$(\tau/\sigma_c)^2 = 0.425 (\sigma/\sigma_c)^2 + 0.0481 (\sigma/\sigma_c) + 0.000625 \quad \dots \dots \dots (7)$$

(5)(6)(7)式に対する本実験値のばらつきは  $\tau/\sigma_c$  の値で ± 0.02 以内である。この値はモルタルや骨材などの付着強度に対して不確定な要素で構成されるものとしては満足できる精度である。

内部摩擦角約 33° という値は、Taylor, Broms<sup>2)</sup> や、小阪, 谷川, 太田<sup>3)</sup> が別形式の実験から得た 30°~39°, 30°~35° の範囲内に入っている。

コンクリート鋼材についても同様のことがいえる。

図-5 における摩擦抵抗力の直線式(8)に粘着力を加えたものが直線式(9)となり、これを図-4 に示した。

$$(\tau/\sigma_c) = 0.511 (\sigma/\sigma_c) \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$(\tau/\sigma_c) = 0.007 + 0.511 (\sigma/\sigma_c) \quad \dots \dots \dots (9)$$

以上、いずれも限られた範囲の実績から得られた数値であるから、その適用には十分なる注意が必要であろう。特に、骨材の岩質、骨材の表面状態、実験時供試体の湿潤状態、養生条件等の影響により、その付着特性、摩擦特性は変動するはずである。たゞ、2章であげた(2), (3)式は、その係数に若干の差があつても、モルタル—粗骨材、あるいは、コンクリート—鋼材の界面特性を表わすものと認められる。すなわち、(1)式の内部摩擦係数  $\tan \phi$  は、(2)式の滑り摩擦係数  $\tan \phi'$  に等しい。

## 5. 界面特性

界面が異種材料の境界を意味するとしても、その力学的特性を論じる時は、真の界面はもとより、界面の近傍も考えに入れなければならない。

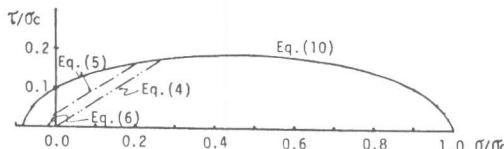


図-6 モルタル—骨材の界面特性

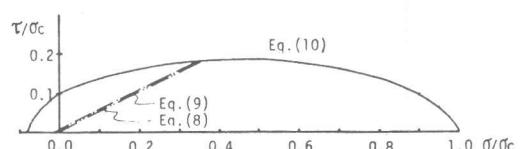


図-7 コンクリート—骨材の界面特性

前述の界面に沿った滑りやせん断破壊の他に、界面近傍の材料が降伏したり破壊し、外力に耐えられなくなれば界面が破壊したのと同じである。普通コンクリートの骨材は、一般にモルタルよりも硬くて強いので破壊しないとすると、モルタル—粗骨材界面が損われないためには、上述の条件の他にモルタルの破壊包らく線の内側になければならない。いま、モルタルの破壊条件を、コンクリートのそれで近似すると、界面にまだ粘着力が存在する状態は、図-6で(10), (5)および(6)式で囲まれた範囲であり、粘着力を失して摩擦抵抗力で耐えられる状態は、(10)および(4)式で囲まれた範囲であるといえよう。コンクリート—鋼材の界面も同様、鋼材の降伏条件がコンクリートに比べて高いから、図-7において(10), (9)式あるいは(10), (8)式で囲まれる範囲に  $\sigma$ ,  $\tau$  がある時、損われない。ここに(10)式は、コンクリートの破壊条件<sup>4)</sup>で以下に記すものである。

$$(\tau/\sigma_c)^2 = 0.122 (\sigma/\sigma_c)^2 + 0.112 (\sigma/\sigma_c) + 0.00981 \quad \dots \dots \dots (10)$$

## 6. 結論

限られた研究の範囲内ではあるが、モルタル—骨材界面、およびコンクリート—鋼材界面の付着、摩擦特性として以下のことが明らかになった。

- (1) 界面の付着抵抗応力や摩擦抵抗応力は、その垂直圧縮応力が大きい程大であり、その関係は、直線的で、(3)式あるいは(2)式で表わせる。
- (2) 内部摩擦係数は、滑り摩擦係数にはほぼ等しい。
- (3) 界面特性は、界面の付着強度や摩擦抵抗力の他に、界面近傍の材料の強度特性によって決定される。

## 参考文献

- (1) 岡島達雄, 日本建築学会論文報告集, №.178, pp.1~8 (1970)
- (2) Taylor, M.A., Broms, B.B., Jour. of A.C.I., Vol. 61, №.8, pp. 939~956 (1964)
- (3) 小阪義夫, 谷川恭雄, 太田福男, 日本建築学会東海支部研究報告, №.10, pp.13~16 (1972)
- (4) 岡島達雄, 日本建築学会論文報告集, №.182, pp.1~7 (1971)