Ⅳ－2　不均一混合固体の強度理論

小野田セメント　坂木 守

Ⅰ．はしがき

混合固体の重量，弾性係数など，構造鈍感な物性は，各固体構成成分の物性のある種の平均になるが，破壊現象は固体構造の中の最も弱い部分の影響を強く受けることが知られている。

ここでは，固体粒子すなわち「骨材」を「結合材」によって固結した材料を広義の「コンクリート」と考え，結合材の変形挙動がコンクリートの破壊現象におよぼす影響を微視的に考察した。ここで検討するコンクリートについては，結合材の占める体積割合がすべて20%程度である。

すでに，昨年度の講演会において，結合材が脆性を示す場合の一例として，セメントコンクリートの破壊現象を理論的に解明し，圧縮強度が単純引張強度の増巾効果（3/2乗法則）として理解できることを示した。本講演ではさらに，結合材としてプラスチックス，瀝青材など延性材料を用いたコンクリートの破壊現象を検討し，一般に「曲げ強度が圧縮強度と一致するようなコンクリート」を製造する可能性を追求した。

Ⅱ．巨視破壊の局所性

コンクリートは結合材が延性であると脆性であるとを問わず，また引張破壊であると圧縮破壊であるとを問わず，破壊によってバラバラになることはなく，特定局部が破壊するだけである。これはコンクリートの巨視的な不均一性に起因するものと思われる。したがって，微視的な破壊機構をこの破断局部について平均したものがコンクリートの強度に対応するものと考えられる。このような観点から，すでに結合材が脆性を示すセメントコンクリートの場合について，圧縮強度（σ_c）と単純引張強度（σ_t）または曲げ強度（σ_b）との間に，つぎのような関係が成立することを理論的に示し，また実験的にも確認した。

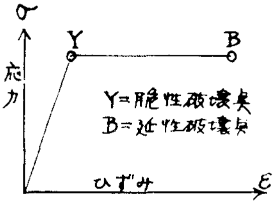
$$\sigma_c = R_1(\sigma_t)^{3/2} \quad \text{および} \quad \sigma_c = R_1'(\sigma_b)^{3/2} \qquad \text{-------------------------} (1)$$

ここに，R_1，R_1'：コンクリートの内部拘束条件によって定まる物質係数。

Ⅲ．微視的破壊条件

式(1)の関係はつぎのような論理に基いて導かれている。1) 結合材が脆性であるから，微視的には主引張ひずみが弾性限界値に達した時，微視ひびわれを発生する。2) 内部応力はこの微視ひびわれの先端領域に集中する。3) このため，微視ひびわれが一定寸法まで成長するのに，一定の塑性仕事が費される。4) 巨視的破断局部におけるこの種の微視的塑性仕事の和は，巨視的にはコンクリートが破壊までに蓄積したみかけの弾性エネルギーに等しくなければならない。

結合材がプラスチックス，瀝青材などのように延性を示す場合，微視ひびわれの発生を考えることはできないから，上記の論理が成立しないことは容易にわかる。この場合，コンクリート中の延性結合材の微視的な変形挙動は図－1で近似すれば十分であろう。



図－1　結合材の変形挙動

コンクリートの破断局部の巨視引張破壊ひずみ(ε_B)は，骨材と結合材との配合割合その他によって，結合材単味の引張破壊ひずみより著しく小さくなっていることが予想される．しかし，結合材の最大主引張ひずみ一定という微視的破壊条件に対応して，コンクリートの巨視的破壊条件を破断局部の最大主引張ひずみ一定(ε_B)と考えることは十分合理的である．また，コンクリートの巨視的降伏限界(ε_Y)または弾性限界は，微視的には延性結合材の降伏点に対応しているものと考えられる．

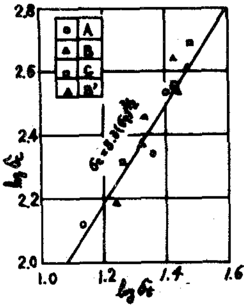


図2. セメントコンクリート

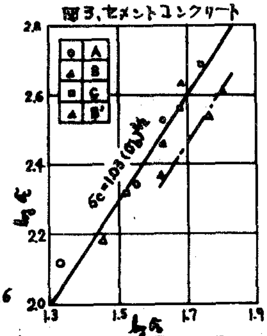


図3. セメントコンクリート

IV. 強度関係式

以上のように，脆性結合材と延性結合材との場合では微視的な破壊機構に差違はあるが，巨視的な引張破壊現象に差はないものと思われる．すなわち，コンクリートの曲げ強度(σ_b)と引張強度(σ_t)との間には，セメントコンクリートの場合と同様に次式が成立する

$$\sigma_b = \sigma_t \phi(\mu, a) \quad \text{-------------} (2)$$

ここに，$\mu = \varepsilon_B/\varepsilon_Y$；破断局部の破壊ひずみ($\varepsilon_B$)と降伏点ひずみ($\varepsilon_Y$)との比，$a = e_t/e_c$；破断局部の引張弾性係数($e_t$)と圧縮弾性係数($e_c$)との比．$\phi(\mu, a)$；$\mu$, aの関数で，一種の物質係数と考えられる．

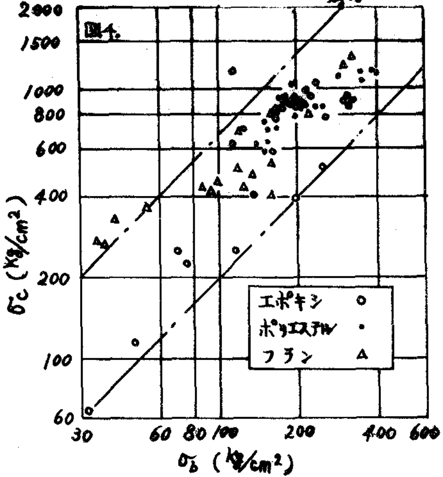


図4.

延性結合材を使う場合破断の瞬間までコンクリートの内部に微視ひびわれを発生しないから，コンクリートを連続体と考えることができる．したがって，この種のコンクリートの圧縮破壊条件は，セメントコンクリートの場合と異なり，単純な次式で表せる

$$\nu \cdot \frac{\sigma_c}{E_s} = \varepsilon_B \equiv \mu \cdot \frac{\sigma_t}{e_t} \quad \text{または} \quad \sigma_c = R_2 \sigma_t, \; R_2 \equiv \frac{\mu}{\nu} \cdot \frac{E_s}{e_t} \quad \text{-------------} (3)$$

ここに，ν, E_s；コンクリートの圧縮破壊時のポアソン比とセカントモデュラス．

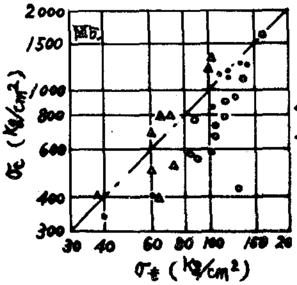


図5.

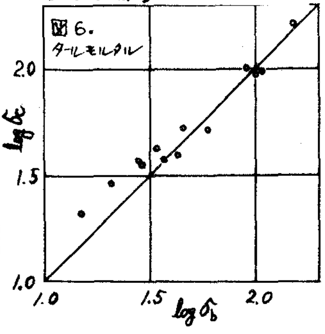


図6.
タールモルタル

式(3)に式(2)を代入すれば簡単に，$\sigma_c = R_2' \sigma_b$, $R_2' \equiv R_2/\phi(\mu, a)$ が求まる。これらの係数R_2, R_2'もR_1, R'と同様に，コンクリートの内部拘束条件によって定まる物質係数である．

V. 将来の可能性.

既往の実験結果を図2〜6に示したが，コンクリート中のセメント結合材が微視的には脆性破壊し，他の結合材が延性破壊するという粗雑な仮定はほぼ満足している．前記の物質係数を，コンクリート構成成分である「骨材」と「結合材」との変形挙動，配合割合などによって定量的に表現するのが今後の課題である．