

[1024] ブリージングを想定したモデルコンクリートの圧縮破壊性状

正会員 田澤 栄一（広島大学工学部）

正会員 南 和孝（防衛大学校）

正会員 ○岡本 修一（大成建設）

西川 毅（熊谷道路）

1. ま え が き

一般に、コンクリートの圧縮破壊性状が、内部に潜在する微小欠陥に影響されることは、これまでの多くの研究により明らかである。その潜在的欠陥の中でブリージング水隙は、コンクリートにおいて避けることの出来ないものであり、ダブルミキシング等で、ブリージングを減少させれば、コンクリートの圧縮強度は増加する。しかし、このブリージング減少による圧縮強度の増大傾向は、モルタルでは不明瞭で、セメントペーストでは、W/C法則に従い、ブリージングの減少に伴い強度は減少する。一見、W/C法則に反する、コンクリートの圧縮強度に対するこのようなブリージングの影響は、粗骨材粒子下部に留まるブリージング水隙の影響によるものと思われる。そこで本研究では、ブリージングがコンクリートの圧縮破壊に及ぼす影響についてコンクリートを骨材とモルタルの2相モデルに置換え、その界面に、ブリージングを想定した人工欠陥をつくり、その欠陥の位置、長さが、モデルコンクリートの一軸圧縮破壊性状に及ぼす影響について、実験を行い、F.E.M.による弾性解析結果と比較しながら、検討を行った。

2. 実 験 概 要

2-1 実験計画

a) シリーズI：実際のコンクリートにおいて、ブリージング水隙は加力方向に対して常に垂直方向にあるとは限らない。そこで、このシリーズでは、同じ大きさの欠陥でもその位置により、また、同じ位置にあっても欠陥の大きさにより、モデルコンクリートの力学的特性がどのような影響を受けるかを検討した。

モデルには、図1に示す様な、モルタルマトリックス中に円柱形のインクルージョンを1個埋め込んだモデルを使用し、欠陥の位置は θ で、長さは $\psi/2$ で表すものとする。

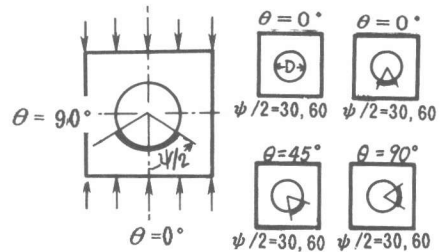


図1 供試体の種類（シリーズI）

b) シリーズII：応力集中を考慮すると、系に多数の欠陥が存在する場合、一番寸法の長い欠陥に大きな応力集中が生じ、そこから、まずクラックは進展すると考えることが出来る。

そこで、このシリーズでは、図2に示す様なモルタルマトリックス中に円柱形のインクルージョンを正方形に4個配置したモデルを用い、種々の欠陥の組合せに対し、どの位置の欠陥から、ひび割れ（モルタルクラック）が発生、伝

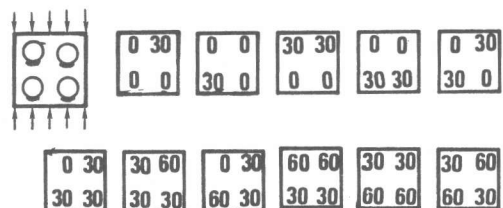


図2 供試体の種類（シリーズII）

播するかを検討した。

2-2 供試体

a) 形状寸法：供試体は、図3に示す、100X100X30mmのモルタルマトリックス中に、シリーズIでは、φ50または25mmのインクルージョンをシリーズIIではφ25mmのインクルージョンを埋め込んだ。

b) 作製方法：本実験では、インクルージョンはモルタルにより作製した。セメントには、普通ポルトランドセメント、細骨材には、風化花崗岩系山砂を使用した。その配合を表1に示す。φ50mmのインクルージョンは、φ50X100mmの圧縮試験用型枠にモルタルを打ち込むことにより、また、φ25mmの場合は、あらかじめ作製したモルタル板から、コアを抜くことにより作製し、両者は7日間水中養生を行った。その後、欠陥となる所定の位置にビニールテープ（厚さ約0.5mm）を貼り、供試体作製用型枠に固定し（図4）、周囲にW₁/C=24%でダブルミキシングを行ったモルタルを打ち込み、脱型時にビニールテープを抜き取ることでインクルージョンとモルタルマトリックスの界面に欠陥をつくり、28日間の水中養生後、打設面を研磨成型し供試体とした。

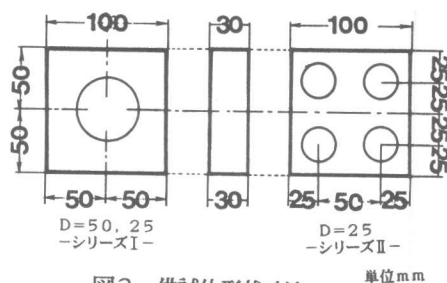


図3 供試体形状寸法

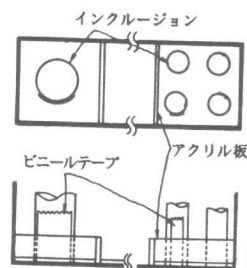


図4 供試体作製方法

表1 配合

	W/C (%)	S/C
インクルージョン	30	2.5
マトリックス	50	2.12

2-3 荷荷方法

荷荷には20t モルタル圧縮試験機を使用した。また供試体と荷荷板の間には、端面拘束の影響を除去するため、サンドイッチ状にグリスを塗布した二枚のビニールシートをはさんで荷荷した。

3. 結果 および 考察

3-1 シリーズIについて

図5は、欠陥の位置（θ）を一定とした場合の、圧縮強度比 σ_H / σ_{non} （インクルージョン

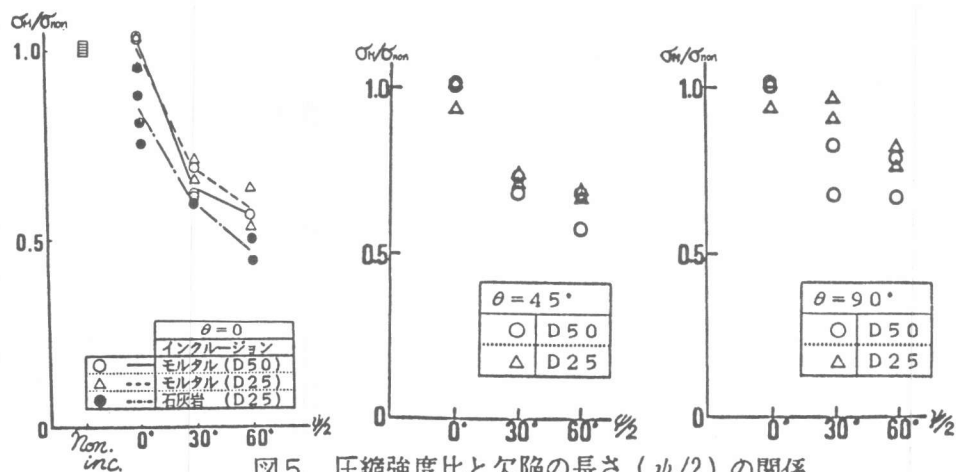


図5 圧縮強度比と欠陥の長さ（ψ/2）の関係

を有しないマトリックス板の圧縮強度に対する、供試体の圧縮強度の割合)と欠陥の長さ($\psi/2$)の関係を示したものである。図より、位置が一定なら、インクルージョンの直径によらず、欠陥の長さが長くなる程、 σ_M / σ_{non} は無欠陥の場合より低下することがわかる。

また、 $\psi/2$ を一定とした場合の、 σ_M / σ_{non} と θ の関係を示した図6からは、欠陥の長さが一定ならば、インクルージョンの直径によらず、欠陥の位置が加力方向に対し垂直方向から水平方向に移動するに伴い、供試体の強度低下は少なくなることがわかる。

図7に、これら供試体のインクルージョンとモルタルマトリックスの境界部に貼った歪ゲージ(ゲージ長5mm)の挙動を示す。

$\theta = 0^\circ$ の場合では、低荷重域で欠陥先端部ばかりでなく、他の境界もより大きく開き始めている。 $\theta = 45^\circ$ の場合では、インクルージョン側部方向の欠陥先端部は低荷重域から開き始めているが、下部側は破壊時まで圧縮状態である。

$\theta = 90^\circ$ の場合では、両欠陥先端部共に、高荷重域でも開かず、他の境界の方が先に開き始めている。

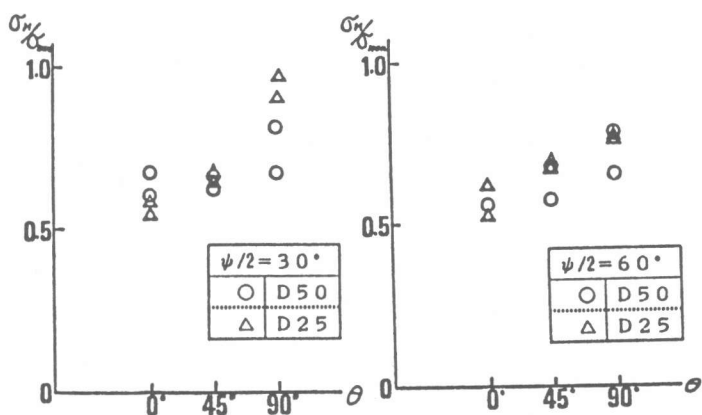


図6 圧縮強度比と欠陥の位置(θ)の関係

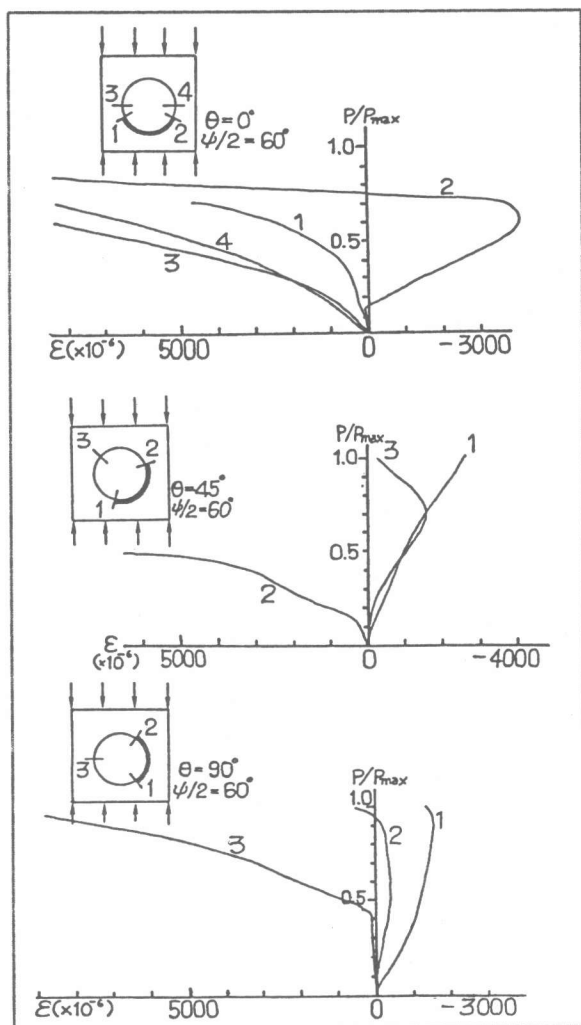


図7 歪ゲージの挙動

この様な挙動を示す、境界面付近の応力状態について、F.E.M.弾性解析を行った結果を 表2-1, 2-2に示す。2つの表より、 $\theta = 0^\circ$, 90° では、欠陥先端部またはその付近で、引張り側に最大主応力が発生し、 $\theta = 45^\circ$ では、下部方向の先端部には圧縮側に、側部方向の先端部では引張り側に最大主応力は発生しており、また、欠陥が $\theta = 90^\circ$ から $\theta = 0^\circ$ へと、加力方向に対して垂直になるに伴ない、最大剪断応力が増大している。従って、 $\theta = 0^\circ$, 90° では低荷重域で両方のクラック先端部から、また、 $\theta = 45^\circ$ ではインクルージョン側部のクラック先端部から開き始めると考えられ、先の歪ゲージの挙動と良く対応している。

そして、位置変化による欠陥端部の微小ひび割れ発生には、主引張応力ばかりでなく、最大剪断力もかなり影響するものと思われ、特に $\theta = 0^\circ$ 場合に、この最大剪断力の影響は著しいと考えられる。つまり、表2-1より、欠陥がインクルージョン下部に、加力方向に対し垂直に位置する場合において、欠陥の大きさ($\psi/2$)が 30° , 60° , 75° と大きくなるに伴い、欠陥先端部の主応力は引張りに向って増大し、最大剪断力も増大していることがわかる。従って、欠陥が大きくなる程、低荷重でクラック先端部は開きはじめると考えられ、図5の結果に帰着するものと思われる。

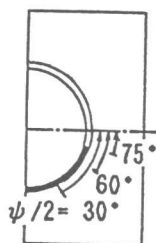


表2-1 F.E.M. 弾性解析結果

θ $\psi/2$		40°		50°		60°		70°		80°	
0°	30° σ_1/σ	-0.017	0.081	0.118	0.145	0.156	0.155	0.143	0.124	0.100	0.075
	30° τ_{max}	0.806	0.382	0.309	0.276	0.253	0.230	0.214	0.197	0.181	0.166
	60° σ_1/σ							2.788	1.198	0.823	0.639
	60° τ_{max}							1.397	0.644	0.463	0.322
	75° σ_1/σ										3.713
	75° τ_{max}										1.339

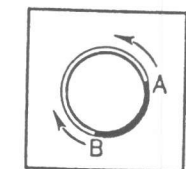
* σ_1/σ : 最大主応力/平均応力 * τ_{max} : 最大剪断応力, kgf/mm^2 ($P=1\text{t}$)

表2-2 F.E.M. 弾性解析結果

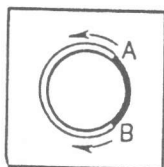
		← A			B →		
$\theta = 45^\circ$	σ_1/σ	0.197	0.428	1.303		-1.060	-0.533
$\psi/2 = 30^\circ$	τ_{max}	0.197	0.285	0.627		0.489	0.203
$\theta = 90^\circ$	σ_1/σ	0.044	0.062	0.156		0.156	0.062
$\psi/2 = 30^\circ$	τ_{max}	0.186	0.196	0.292		0.292	0.196

* σ_1/σ : 最大主応力/平均応力

* τ_{max} : 最大剪断応力, kgf/mm^2
($P=1\text{t}$)



$\theta = 45^\circ$, $\psi/2 = 60^\circ$



$\theta = 90^\circ$, $\psi/2 = 60^\circ$

以上述べてきた結果は、実際のコンクリートにおいて、ダブルミキシング等によりブリージング量を少くすると圧縮強度が増大することや¹⁾、打設方向と異なる向きに加力した場合、同一コンクリートでも圧縮強度が相違する事実(図5)を裏付けているものと思われる。

3-2 シリーズⅡについて

図8にインクルージョンの全境界長(b)に対する全欠陥長(d)の割合(d/b)と σ_M/σ_{non} の関係を示す。この図から欠陥が存在するということで圧縮強度はかなり低下するが、全欠陥長が長くなることの圧縮強度への影響は少ないよ

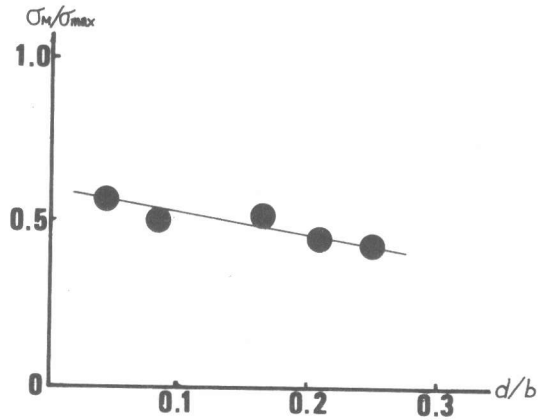
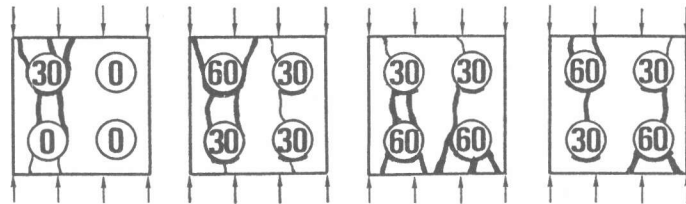


図8 圧縮強度比と d/b の関係

うであり、最終破壊性状には、以下に述べる。どの位置に、どの様な欠陥が存在するかが重要と考えられる。



* 数字は欠陥の長ささ ($\psi/2$) を示す。

図9 最終ひび割れパターン

図9に、4個のインクルージョンの内1個の境界部に欠陥が存在する場合、また、すべてのインクルージョン境界部に欠陥が存在しその内の1個または2個が大きな場合についての最終ひび割れパターンを示す。

これらの図から破局モルタルクラックは、欠陥が存在する場合には、その欠陥から、また、多数の欠陥が存在する場合には、その中の最も大きな欠陥から発生していることがわかり、図10、11に示すクラック先端に貼った歪ゲージの挙動からも、大きな欠陥の先端が先に低荷重域から開き始めることがわかる。

この結果は、実際のコンクリートにおいて、同一ブリージング量なら、寸法の大きな骨材の下部に出来るブリージング水隙から、また、局所的なブリージングの差がある場合では、ブリージング量の

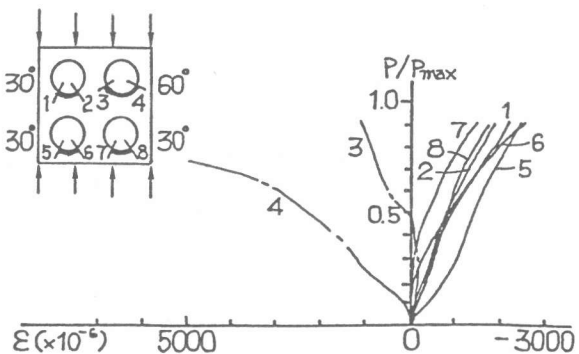


図10 歪ゲージの挙動(インクルージョン4個の場合、その1)

多い部分の骨材下部の水隙から、モルタルクラックは進展することを示唆しているものと思われる。

4. ま と め

ブリージングによって粗骨材下部に生ずる空隙がコンクリートの圧縮破壊性状に及ぼす影響を 骨材とモルタルの2相モデルに置換えたモデルコンクリートにより検討を行なった結果を以下にまとめる。

モデルコンクリートの圧縮強度はインクルージョンとモルタルマトリックスの境界面に欠陥が存在することにより低下

し、その低下量は、欠陥が長くなるほど、また、その位置が加力方向に対して垂直となるほど大きくなる。

そして、一つの系内に、数個の欠陥が存在する場合は、破局的なモルタルクラックは、その内のもっとも大きな欠陥から発生する。

以上のことより、コンクリートにおいてブリージングの増大によって圧縮強度が低下するという一見W/C法則に反する現象が起りうることが判明した。

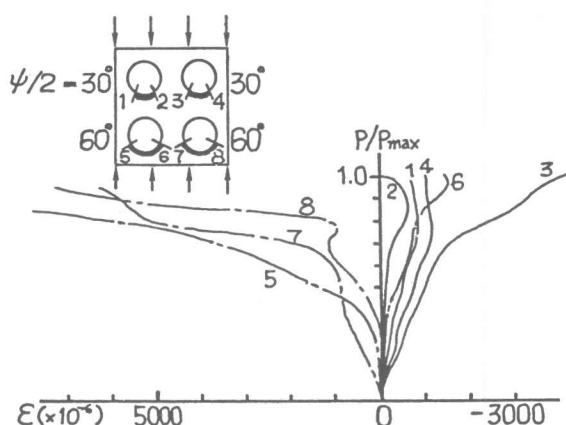


図 1.1 歪ゲージの挙動(インクルージョン4個の場合, その2)

<参考文献>

- [1] 田澤栄一, 宮沢伸吾: 新しい練り混ぜ方法がコンクリートの性質に及ぼす影響, セメント・コンクリートNo.466, 昭和60年, 12月
- [2] 佐伯 昇: 骨材よるCrack Arrest状態のコンクリートのひび割れ発生伝播機構, 土木学会第30回年次学術講演会演概集, 昭和50年
- [3] 佐伯 昇: 骨材よるCrack Arrest作用によるコンクリートのひび割れ特性, 土木学会第31回年次学術講演会演概集, 昭和51年
- [4] 和泉正哲, 三橋博三, 佐々木達夫: コンクリートの圧縮破壊発生機構に関する基礎的研究 日本建築学会論文報告集, 第 289号, 昭和55年 3月
- [5] 加藤清志: プレーンコンクリート中のマイクロクラックと物性, 土木学会論文報告集, 第 188号, 昭和46年4 月