

コンクリートのひびわれ抵抗性に関する破壊力学的研究 (その 1 骨材のクラックアレスター作用の定量化)

正会員 岸谷 孝一* 〇同 平居 孝之** 同 村上 聖***

1 序論

調査因子がコンクリートのひびわれ抵抗性に及ぼす影響について、線形破壊力学に基づいた評価はこれまでに多数試みられているが、線形破壊力学による評価は特に用いる供試体寸法に強く依存し、破壊靱性の大きい材料ほど過小な結果を与えるので、破壊靱性の改善効果を適切に表示することは不可能である。さらに、コンクリートの主要な構成要素である骨材が、そのひびわれ抵抗性のメカニズムにどのような役割を果たしているかには、定性的にはある程度理解されているものの、定量化も含めた総合的な理解は必ずしも十分であるとは言えない。従来、骨材の混入がコンクリートの強度を低下させる（骨材混入量が増す程、また骨材寸法が大きくなる程その傾向が著しい）ことから、骨材の利用は特に経済性の面からとらえられていたと言っても過言ではない。しかし、最近では骨材のひびわれ抵抗性や靱性改善への効果が、次第に認識されるようになってきている。

そこで、本稿では日本建築学会大会で既に報告^{1,2)}した破壊過程域内部の損傷解析に基づく間接的評価により調査因子がコンクリートの破壊靱性に及ぼす影響に関して解析及び実験的検討を行うとともに、骨材のクラックアレスター作用について定量的な考察を試みる。

2 評価方法

コンクリートの引張破壊過程の特徴が、損傷領域（破壊過程域と呼ばれている）の局所的な集中化に見いだせることから、き裂先端からの細長い塑性域の進展を仮想のき裂面にその開口に抵抗する力が作用するモデルで近似した結合力モデル（Dugdale-Barenblattモデル）の適用性が注目され、これまでも類似モデルを用いたコンクリートのひびわれ伝播挙動の解析が試みられている。本研究では、結合力が仮想き裂面間距離の関数で与えられるBarenblattモデルの場合に、任意の構成法則（結合力-開口変位関係）に対して同じJ積分値を与えるような等価なDugdaleモデルによる

逐次解析の逆解法に基づいて、破壊靱性を間接的に評価する。解析手順の詳細は、既報^{1,2)}を参照されたい。

3 実験方法

破壊靱性試験は、寸法100X100X400mmの切欠き曲げ供試体の中間曲げ載荷（スパン高さ比=3.0）で行った。切欠きは、厚さ1.0mmの亚克力板を先打ちする方法で入れ、その深さははりせいに対する比で0.3とした。荷重と、切欠き端にナイフエッジを介して取り付けられたクリップケージ変位（き裂口変位）との関係をX-Yレコーダーにより自動記録した。また、荷重-き裂口変位曲線の最大荷重点以降の下降域は、X-Yレコーダーのペン先速度を眺めながら荷重試験機の油圧を調節して除荷と再載荷を繰り返すことにより計測した。供試体は、材令28日（20℃水中養生）の湿潤状態で試験に供した。

使用材料及び調査は表1と表2に示す通りであり、供試体は同一条件ごとに各3個ずつ製作した。調査因子として本実験では水セメント比、粗骨材体積率、及び骨材最大寸法の3水準とした。また、引張強度は、100X200mm円柱共試体による割裂引張強度を直接引張強度に換算した値を用いた。

4 結果及び考察

図1は、一例として各種骨材最大寸法に関して測定された荷重-き裂口変位曲線の平均値と、測定値との一致から逆解法により推定された破壊過程域内部の結合力-開口変位（COD）関係を示す。ここで、表面ひびわれ発生点及び主ひびわれ発生点は、結合力の低下し始める点及び結合力の作用する限界の開口変位点としてそれぞれ定義した。また、破壊靱性パラメータであるJ積分値は、結合力-COD曲線下の面積として評価される。

まず最初に、水セメント比がコンクリートのひびわれ抵抗性に及ぼす影響について考察する。図2と図3は、各種水セメント比について表面ひびわれ発生点、

最大荷重点、及び主ひびわれ発生点で評価されたき裂先端開口変位 (CTOD) 値、並びに J 積分値及び線形破壊力学が十分な精度で成立する供試体寸法においてその適用が有効である限界応力拡大係数 (K_{Ic}) 値をそれぞれ示す。これらの図から、表面ひびわれ発生点では水セメント比による差はほとんどないが、主ひびわれ発生点では水セメント比=40%において J 値が顕著に増加していることが分かる。従って、ある程度以上の水セメント比の減少に対して主ひびわれ進展抵抗性が顕著に改善されるように思われる。

次に、砂利体積率がコンクリートのひびわれ抵抗性に及ぼす影響について述べる。図4と図5は各種砂利体積率に対して評価された CTOD 値、並びに J 値及び K_{Ic} 値をそれぞれ示す。これらの図から、砂利体積率が増加する程表面ひびわれ進展抵抗性は若干低下しているが、主ひびわれ進展抵抗性は逆に砂利体積率の増加に伴って著しく改善されることが分かる。ただし粗骨材の混入量が多すぎると (砂利体積率=0.5) 主ひびわれ進展抵抗性は急激に低下する。このことは、ある程度の粗骨材混入による非均質性の増加やひびわれ面での骨材の噛み合いが、主ひびわれ進展抵抗性の改善に有効に作用する、ただし混入量が多すぎると逆に骨材マトリックス界面の付着ひびわれの橋架けが容易に生じ主ひびわれに合体しやすくなるために、その効果が低下するものと考えられる。

最後に、骨材最大寸法がコンクリートのひびわれ抵抗性に及ぼす影響について検討する。図6と図7は、各種骨材最大寸法について評価された CTOD 値、並びに J 値及び K_{Ic} 値をそれぞれ示す。これらの図から、骨材最大寸法が大きくなる程表面ひびわれ進展抵抗性

は若干低下するが、主ひびわれ進展抵抗性は骨材寸法が大きくなるにつれて著しく改善される事が分かる。このことは、図1においてプレーンモルタルが結合力を直線的に低下させるのに対して、骨材寸法が大きくなるにつれて結合力はなだらかな下に凸の曲線状に低下し、限界の開口変位値が増加していることから、骨材寸法が大きくなる程骨材の噛み合い作用が主ひびわれ進展抵抗性に対して有効に働くためと考えられる。

以上の結果から、骨材のクラックアラスタ作用には骨材マトリックス界面での付着ひびわれ発生に伴うエネルギー吸収メカニズムとひびわれ面での骨材の噛み合いによるひびわれ開口抵抗の2種類があり、前者に関しては水セメント比の減少による付着強度の増加が、また後者に関しては粗骨材混入量及び骨材寸法の増加がそれぞれ主ひびわれ進展抵抗性の改善に有効に作用するものと考えられる。

参考文献

- 1) 岸谷、平居、村上、コンクリートの破壊モデル解析 (その1 等価Dugdaleモデルによる逐次解析) 日本建築学会大会学術講演梗概集A、P181
- 2) 岸谷、村上、平居、コンクリートの破壊モデル解析 (その2 J積分評価法との関連) 日本建築学会大会学術講演梗概集A、P183

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	大井川産川砂 表乾比重 2.62 最大寸法 5.0 mm F.M. 2.85
粗骨材	大井川産砂利 表乾比重 2.65 最大寸法 10.0 mm (F.M. 6.00) 最大寸法 15.0 mm (F.M. 6.50) 最大寸法 20.0 mm (F.M. 6.60)

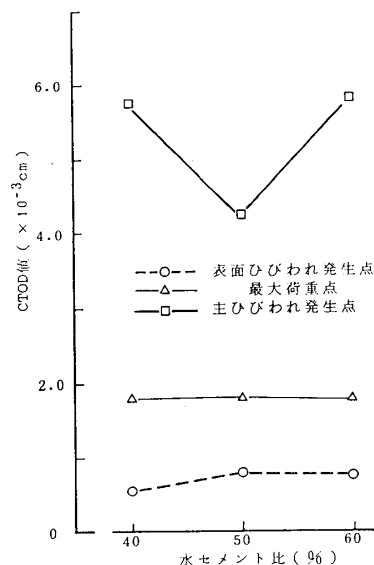


図2 水セメント比がCTOD値に及ぼす影響

表2 使用調査

シリーズ		調査	直接引張強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (X10 ⁵ kgf/cm ²)
水セメント比	40%	砂体積率 0.3 砂利体積率 0.4 砂利最大寸法 15.0mm 材令 28日	35.9	3.61
	50%		30.8	3.31
	60%		28.6	3.07
砂利体積率	0.2	水セメント比 50% 砂利最大寸法 15.0mm 材令 28日 C : S = 1 : 2.14 (重量比)	31.0	2.85
	0.4		30.3	3.36
	0.5		29.6	3.07
骨材最大寸法	5.0mm	水セメント比 50% 砂体積率 0.3 砂利体積率 0.4 材令 28日	32.0	2.34
	10.0mm		30.2	2.86
	15.0mm		28.2	3.13
	20.0mm		27.3	2.75

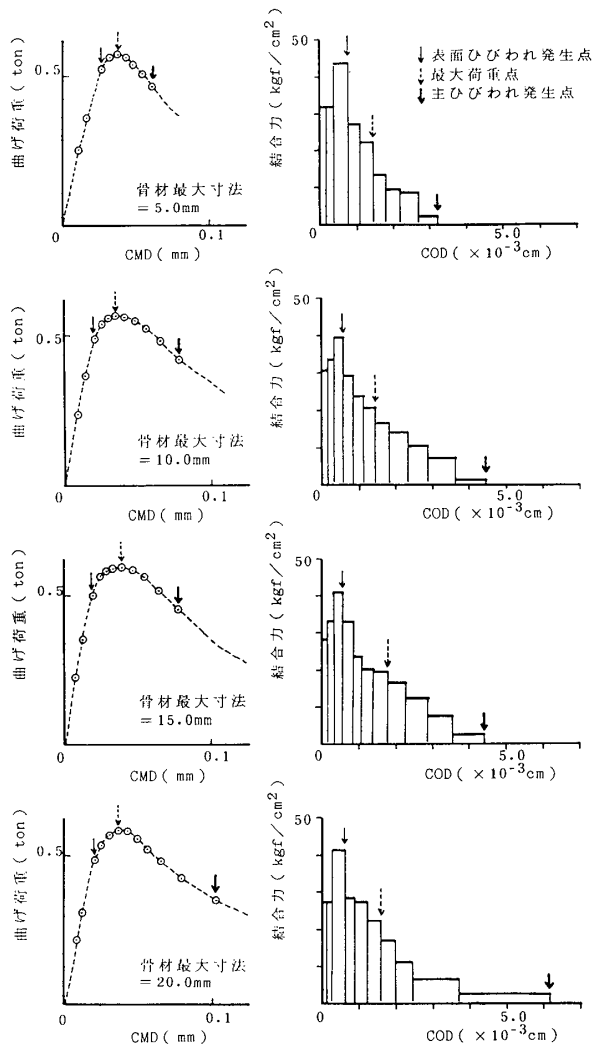


図1 各種骨材最大寸法に関する荷重-き裂口変位曲線と推定された結合力-COD関係

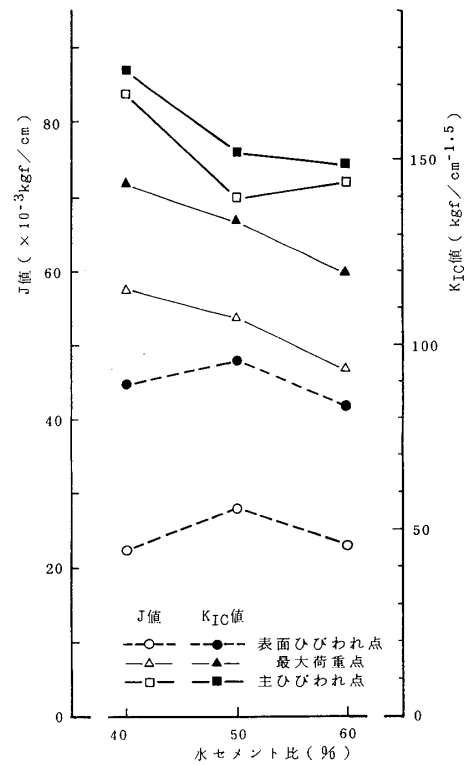


図3 水セメント比がJ値、K_{1C}に及ぼす影響

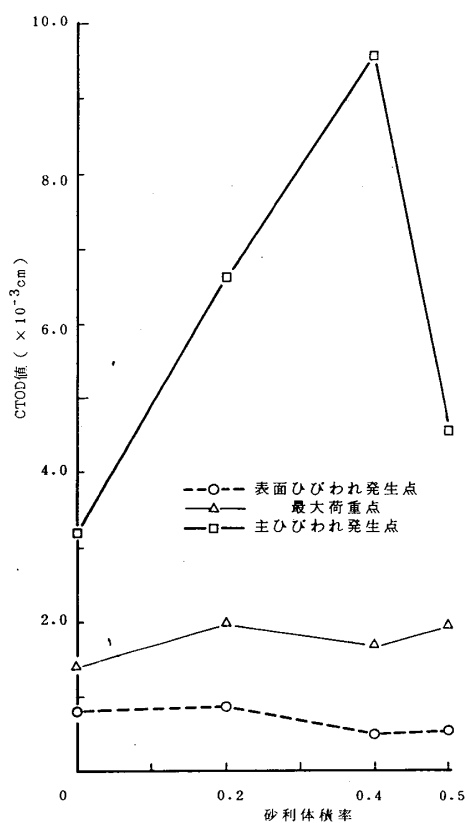


図4 砂体積率がCTOD値に及ぼす影響

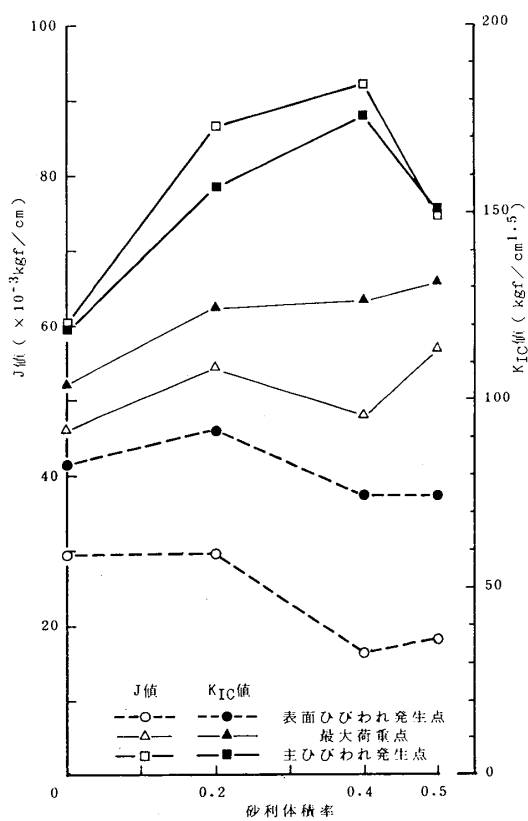


図5 砂体積率がJ値、K_{IC}に及ぼす影響

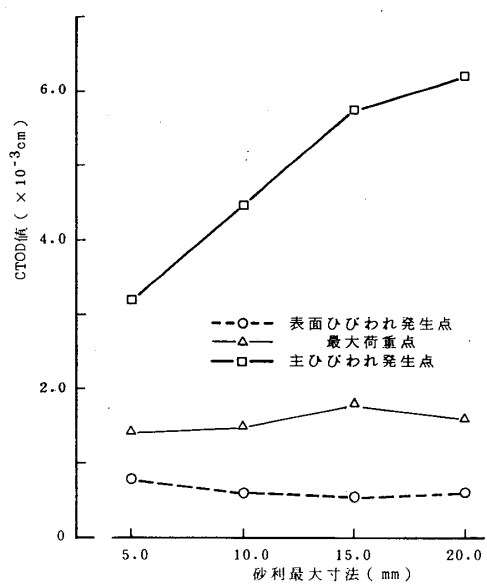


図6 骨材最大寸法がCTOD値に及ぼす影響

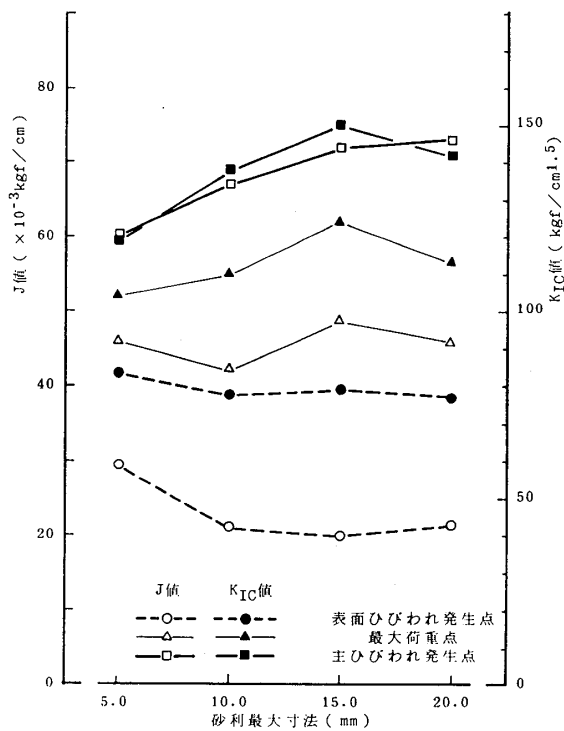


図7 骨材最大寸法がJ値、K_{IC}に及ぼす影響

*東京大学教授、工博 **大分大学教授、工博 ***熊本大学助手、工修