

岐阜大学 学 内田裕市
 岐阜大学 正 六郷恵哲
 岐阜大学 正 小柳 治

1. はじめに

コンクリートのひびわれ発生に対する抵抗性、耐衝撃性能、あるいはねばりやもろさなどの破壊性状を評価するためには、応力やひずみをもととした解析方法よりむしろエネルギー量のバランスを考慮した解析方法の方が有利であると考えられる。このような破壊性状を考慮するために限界エネルギー解放率 G_c ・限界丁積分 J_c ・表面エネルギー γ 等の靱性パラメタが用いられている。ここでは、まず靱性パラメタの特性を述べ、つぎに曲げを受けるコンクリートを対象として、靱性パラメタの適用例を紹介し、供試体全体としての靱性の評価方法について考察する。

2. 各種靱性パラメタ

限界エネルギー解放率 G_c は、材料が線形弾性体であることを前提として、一般に最大耐力時の応力 σ^* の関数によって与えられる。 $(G_c = f(\sigma^*))$ したがって切欠のある曲げ供試体が図-1-aに示すような線形な荷重変位関係を有する場合には、 G_c をひびわれ発生に対する抵抗性を表すパラメタとして適用することができる。

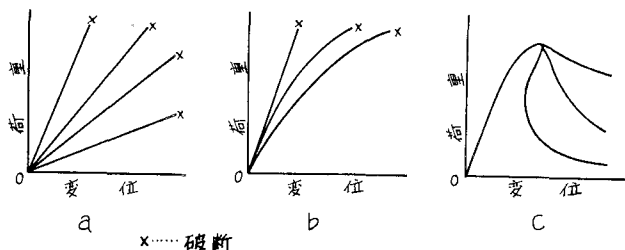


図-1 典型的な荷重変位曲線

最大耐力までの荷重変位関係が図-1-bのように非線形となる場合には、最大耐力以前の破壊性状を評価する目的で、線形であることを仮定した G_c を適用することはできない。このような場合には、非線形破壊力学に基づく限界丁積分 J_c を適用すべきである。 J_c は最大耐力以前の荷重変位曲線が示すエネルギー量をもとに次式で与えられる。 $J_c = 2W_n/A$ ここで W_n は切欠のある曲げ供試体がつもポテンシャルエネルギーのうち、切欠の存在に起因する成分であり、 A は供試体の純断面積である。

しかし、 J_c は G_c と同様、主にひびわれ発生に対する抵抗性を表すパラメタであって、破壊現象の進展過程のうちで最大耐力以前の領域を対象としており、最大耐力以降の破壊挙動には関与していない。

一方、曲げ供試体が完全に破断するまでの荷重変位曲線を計測し、それから求められる全エネルギー W_f を破断面のみかけの表面積 $2A$ で除した値を表面エネルギー γ ($\gamma = W_f/2A$) とした場合、 γ は破壊時のエネルギー吸収能力を表わし、図-1-cのように最大耐力が同じでもそれ以降の曲線の形状が異なる場合にその違いを表わすことができる。また γ は破断により生じた表面積のみかけの値しか知り得ないことに起因する不正確さは有するものの、煩雑な数学的処理や仮定を含んでいない。

3. 適用例

3-1 破壊性状の比較 図-2は、モルタル、

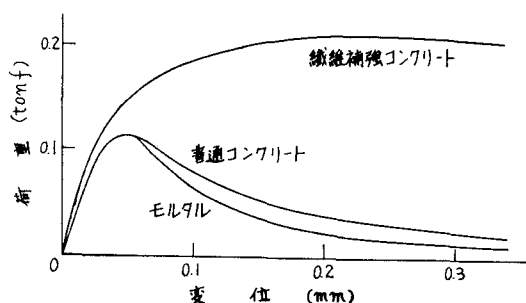


図-2 各種コンクリートの荷重変位曲線

普通コンクリート、ならびに鋼繊維補強コンクリートの切欠のある曲げ供試体の荷重変位曲線を示したものである。これらの曲線をもとに定量化した G_c 、 J_c 、 Γ の値を表-1に示す。モルタルと普通コンクリートでは最大耐力までの荷重変位曲線の形状が類似しているため、両者の G_c および J_c

表-1 各種靱性値

	G_c (kgf/m)	J_c (kgf/m)	Γ (kgf/m)
モルタル	(0.58)	2.0	2.6
普通コンクリート	(0.58)	2.4	4.4
繊維補強コンクリート	(1.90)	27.2	99.0

はそれぞれ一致している。これに対して Γ は両者の間で大きな差を示しており、エネルギー吸収能力の差違を表わすことができる。また普通コンクリートに比べ、鋼繊維補強コンクリートでは J_c は著しく増加している。

3-2 耐衝撃性能 各種コンクリートの曲げ供試体について、落錐式衝撃試験と静的載荷試験を行い、衝撃を受けた場合と静的荷重を受けた場合のエネルギー吸収能力の関係を検討した。

図-3は静的荷重を受けた場合の表面エネルギー Γ_s と衝撃を受けた場合の表面エネルギー Γ_i の関係を両対数グラフ上に示したものである。 Γ_s の値が大きいかほど Γ_i の値も大きくなっている。したがって静的試験で得られるエネルギー吸収能力から衝撃を受けた場合のエネルギー吸収能力を予測することが可能であろう。

4. 材料の靱性と供試体全体としてのものさやねばり

供試体全体としてのものさやねばりという性質に関しては、最大耐力を以て、耐力の減少が急激なほど供試体全体としてはもろく、耐力の減少が緩慢なほどねばりがあると定義できる。ものさやねばりは、供試体が完全に破断するのに必要とされるエネルギー W_f と最大耐力を達するまでに外力によって加えられるエネルギー W_p との比 W_f/W_p を指標とすることで評価できると考えられる。特に曲げ供試体を対象とした場合、 W_f は供試体断面積と Γ によって推定され、 W_p は供試体寸法、弾性係数、曲げ強度あるいは J_c によって推定することも可能である。

図-4にモルタル曲げ供試体について、載荷スパンを3通りに変化させた場合の荷重変位曲線を示す。載荷スパンが長くなるにつれて W_f/W_p は小さくなり、破壊は不安定化し、供試体全体としてはもろくなると思われる。

5. おわりに

以上、各種靱性パラメータのコンクリートへの適用例を示したが、それぞれのパラメータはその特性および適用の限界を有しており、したがって、パラメータの適用に際しては、目的に応じた選択が必要である。また、供試体全体としてのものさやねばり、あるいは破壊の安定性を評価する際に W_f/W_p を指標とする考え方は、曲げを受ける

場合に限らず、圧縮や引張など他の荷重を受ける場合にも適用できる。さらに、供試体としてだけでなく、RC部材や構造物全体としてのものさやねばりを評価する場合にも適用できるものと考ええる。

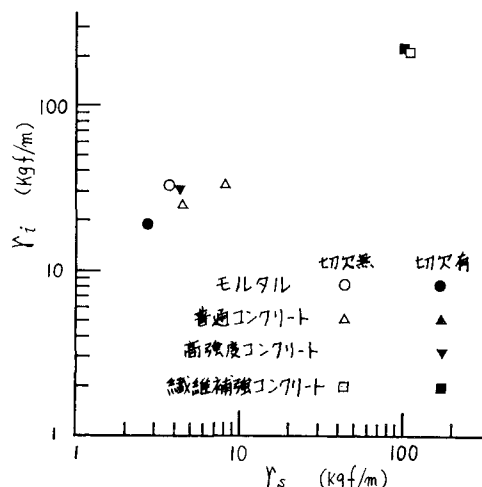


図-3 静的表面エネルギーと衝撃表面エネルギー

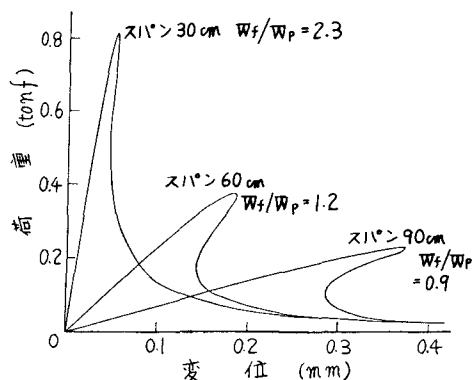


図-4 荷重変位曲線と W_f/W_p