

I-675

コンクリート版構造の耐衝撃設計に関する基礎的研究

阪神高速道路公団 正 員○石橋照久

神戸大学工学部 正 員 宮本文穂

神戸大学大学院 正 員 Michael W. King

神戸大学大学院 学生員 三戸雅文

1. まえがき 本研究は、ソフトな衝撃荷重を受けるコンクリート版構造に対する安全性照査をエネルギー基準および耐荷力基準によって行う手法を提案するものである。特に、エネルギー基準による安全性照査では、コンクリート版構造の吸収エネルギーを利用した安全率の算定法を検討するとともに、新たな観点からの吸収エネルギーの考え方についても検討を加える。

2. 耐衝撃設計のフロー コンクリート版構造

に対して、ソフトな衝撃荷重下で考慮すべき主な破壊モード(全体破壊)を、曲げ破壊と押し抜きせん断破壊とする。このうち、押し抜きせん断破壊は破壊までの吸収エネルギーが小さく、しかも表面剝離を誘発する可能性が大きいと考えられることから、耐衝撃設計では曲げ破壊を終局限界状態とすることが望ましい。また、衝撃荷重下では同一構造物でも衝撃体の種類あるいは載荷速度(荷重速度)によって破壊モードが変化するため、安全性照査はエネルギー基準によって行う必要がある。ここでは、図1に示すようなエネルギー基準および耐荷力基準を組み合わせた耐衝撃設計のフローを提案する。すなわち、対象構造物に対して設計衝撃力とすべき衝撃力～時間関係が与えられている場合には耐荷力基準を適用し(図1②)、また、設定されていない場合においても安全率の算定が必要でない

場合には、衝突条件から設計衝撃力となる衝撃力～時間関係をシミュレートする(図1⑤)ことによって耐荷力基準を適用する。一方、安全率の算定を必要とする場合には、安全性照査はエネルギー基準によって行うものとし、設計衝突条件に対して衝撃力特性を考慮した衝撃破壊挙動解析¹⁾を行う(図1⑧)。これに対して耐荷力基準を適用する場合には、設計衝撃力を入力データとして衝撃破壊挙動解析²⁾を行う(図1⑧)。最後に、エネルギー基準および耐荷力基準による安全性照査のいずれかによって構造物の安全性を確認する(図1⑨)。いずれの場合も、照査基準を満足しない場合には諸寸法を再度仮定する。

3. 吸収エネルギー 版構造の吸収エネルギーは、図2(a)の荷重～載荷点変位曲線で囲まれる部分の面積である「全エネルギー(Total energy; TE)」で評価されるのが一般的である。しかし、版構造が局部変形を生じる場合には、構造全体での変形量は小さいものの、載荷点変位が曲げ破壊の場合よりも大きくなり、見掛けのエネルギー吸収能が曲げ破壊の場合よりも優れていると評価される場合があることが考えられる。そこで、耐衝撃性指標として有効と考えられる版構造の変形量を体積積分した「たわみ体積」から版構造全体の平均変形量を求め、図2(b)に示す衝撃力～平均変形量曲線で囲まれる部分の面積で表現されるエネルギー量を「変形エネルギー(Deformation energy; DE)」と定義することにした。これにより、「全エネルギー」とともにコンクリート版構造の吸収エネルギー

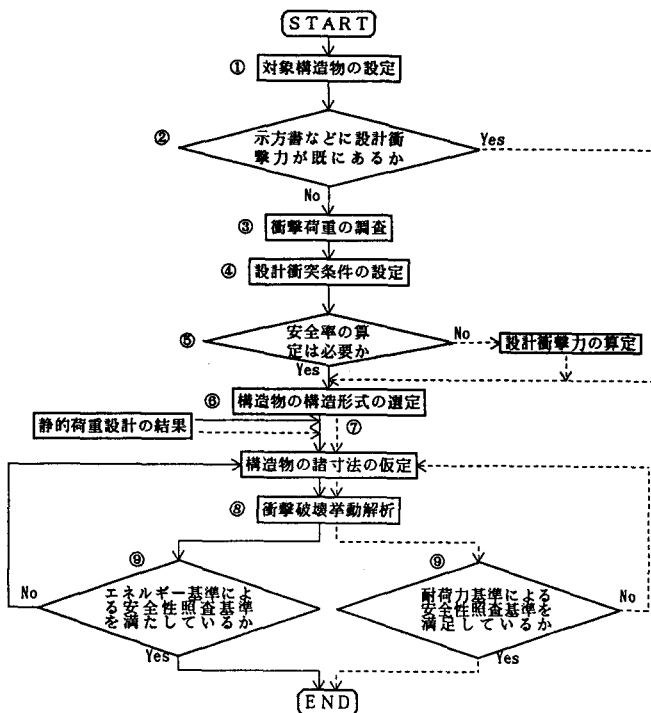


図1 全体破壊に対する耐衝撃設計のフロー

ギ-を表す指標として取り扱い、新たな観点からの安全率評価の可能性を検討した。

4. 安全性照査 安全性の照査は、衝撃体から構造物への加力 E_{fu} と各部材の終局吸収 E_{fu} の比較により行う。具体的には、各部材の終局吸収 E_{fu} は主に載荷速度によって変化するため、設計衝突条件で衝撃破壊挙動解析を行い加力 E_{fu} を算定し、この時の平均載荷速度を入力データとして衝撃破壊挙動解析を行って終局吸収 E_{fu} を算定する。さらに、構造物へ入力される衝撃力特性を表す力積 I を考慮して次式によって版構造の安全率を算定するものとした：

$$r_1 = \frac{E_{fu}/I_u}{E_{fu}/I_o} = \frac{E_{fu} \cdot I_o}{E_{fu} \cdot I_u} \quad (1)$$

（ここで、各記号は図3参照）

上式で算定された安全率が1.0以上となれば、版構造の安全性が確保されたことになるが、それ以下の値で安全性が確保できない場合には、断面寸法、

鉄筋量、コンクリートの種類などを変更して再検討する。さらに、衝撃破壊モードに関して以下のような検討を行う。一般の設計においては、版構造は曲げ破壊耐力よりもせん断破壊耐力の方が大きくなるように検討が行われる（図4参照）。一方、衝撃荷重を受けるコンクリート版構造では、載荷速度の上昇とともに押し抜きせん断破壊を生じ易くなることから、破壊は載荷速度 v_L に応じて、曲げ破壊 $E_f(B)$ および押し抜きせん断破壊 $E_f(PS)$ のうち小さい方に対応した破壊モードに至ると考えられる。例えば、図4の載荷速度 v_{L4} の場合のように両者が逆転する場合には、断面諸量の変更を耐衝撃性評価指標に基づいて行い、再度衝撃破壊挙動解析を実行し、 $E_4 < E_f(B') < E_f(PS')$ となるようにして、押し抜きせん断破壊の先行を防ぐことが望ましい。

なお、以上の加-に従った耐衝撃設計のケーススタディについては講演会当日報告する。

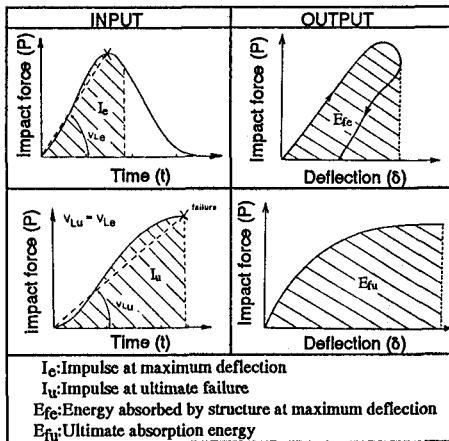


図3 力積と吸収エネルギーの概念図

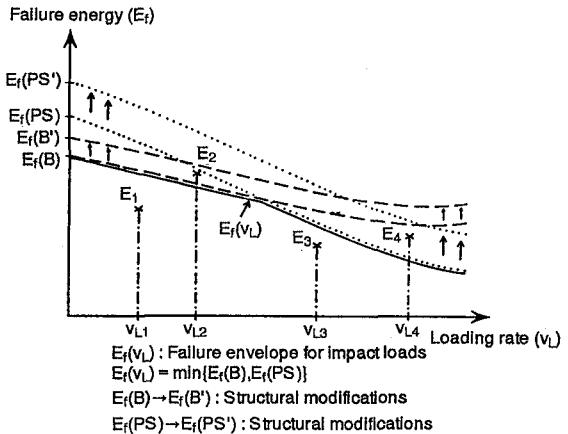


図4 破壊エネルギーの概念図

5. 結論 ① E_{fu} -基準による安全性照査では、衝撃力特性を考慮した衝撃破壊挙動解析を適用することにより、吸収 E_{fu} および力積の関係から安全率の算定が可能となった。②「全 E_{fu} 」の他に「たわみ体積」の考え方を拡張した「変形 E_{fu} 」を導入することにより新たな観点からの安全性の照査が可能となった。

【参考文献】1)宮本, 他: 衝撃力特性を考慮したコンクリート版構造の衝撃破壊挙動解析, 構造工学論文集, Vol. 39A, 1993. 3, 2)A. Miyamoto, et al.: Nonlinear Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Slabs under Impulsive Loads, ACI Jour., Vol. 88, No. 4, 1991