

厚いスラブのひびわれに関する数値実験

大阪工業大学

正員 岡村宏一

東洋技研コンサルタント(株)

正員 島田 功

1. まえがき

筆者はすでに、厚いスラブの理想化されたモデルとして両面固定のものを選り、1次近似的な視点から、材質を等方弾性体と仮定した3次元解析を行って、1つの基本的なデータを提示した。もちろん、より詳細な評価を与えるには、内蔵される鉄骨や、鉄筋のもつ不均質性、ひびわれやせん断すべりの影響などを考慮する必要があるが、内部現象については、実験によって把握しにくい面があり、若干の仮定のもとに、数値実験を行うのも意義のあることと考える。また、数値実験は、現実には複合して現われる、ひびわれや、せん断すべりなどの現象を分離し、いわゆる要因分析を行える利点を持っている。ここでは、このような見地に立って行った若干の解析の結果を報告する。

筆者は、すでに、3次元問題における、前述の不均質性、弾塑性性、ひびわれ現象等の解析に有効な方法として、Mindlin 解を多面的に応用した1つの実用解法を発表し、さらに表記の構造物への適用について論じた。^{2) 3)} 材料のひびわれ現象(または塑性)について、物体が単純な引張りまたは圧縮を受ける場合は、ある程度わかっているが、より複雑な応力系においては、種々の要因があげられている。本研究は、上述の解法を用いコンクリートのようなぜい性材料の破壊要因として考えられる各因子が、挙動にどのように影響するかを数値実験により分析しようとするものである。

2. 破壊理論

ぜい性材料の破壊基準として、次のようなものがあげられる。(i)最大主応力説 (ii)最大せん断応力説とその一般化、(iii)モールの破壊説

(i)は、ぜい性破壊に関する基準で、図-1(a)のように引張りの方向に垂直な面を横切っておくる。すなわ

ち、主引張応力が材料の引張限界応力 σ_t に達するとその方向の直応力が抵抗しえない。また、その面のせん断応力の抵抗力が低減するような材料に変化する。

(ii)は、Coulombの破壊説といわれ、簡単で、かつ有用な基準を与えるもので、材料のせん断強度は、材料本来のせん断強度 τ_0 と、すべりに対する摩擦抵抗 $\mu \sigma_n$ (σ_n は、法線応力

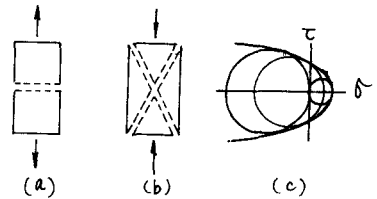


図-1

¹⁾ 島田, 岡村: 厚い長方形スラブの応力と変形

土木学会論文報告集, NO. 233, PP. 13~23, 1974

²⁾ 岡村, 島田: 弾塑性もしくは不均質弾性を有する3次元体の1数値解法, 土木学会論文報告集, NO. 212, PP. 11~24, 1973

³⁾ 岡村, 島田: ひびわれを考慮した厚い剛性スラブの3次元解析
第29回年次学術講演概要 I, PP. 144~146, 1974

μ_i は内部摩擦係数) の和, すなわち, $\tau = \tau_0 + \mu_i \sigma_n$ となり, 図-1(b)の圧縮をうける場合の破壊条件として認められている。

(iii)は, 破壊面での法線応力 σ およびせん断応力 τ と材料のある関数関係 $\tau = f(\sigma)$ によって関係づけられると仮定したもので, 破壊が起るすべての条件に相当するモールの応力円の包絡線としてあらわされ, 図-1(c)で与えられる。最も簡単に考えられる直線のMohrの包絡線は, (ii)の破壊説をあらわす。これより, (ii), (iii)の仮定は, 材料にせん断すべりが生ずるものとしての解析に用いられる。

3. 解法および解析条件

解析上の仮定として, 前論文²⁾³⁾でも用いたように, 不均質性, ひびわれ, 降伏に関する物理量は, 図-2のように分割された各有限領域で平均値をもつものとし, またそれらは, 有限小領域内に設けた選点において評価されるものとする。さて, 母体と補剛材間のすべりはないものとする。補剛材のある有限領域の合成された応力ひずみマトリックスは, 次のように与えられる。 $[D] = [D_c] + [D_s]$

ここで $[D_c]$: 母体の応力ひずみマトリックス

$[D_s]$: 補剛材の含有率による異方性の応力ひずみマトリックス

母体のクラック現象に対しては, 母体の応力

ひずみマトリックス要素を3(1)で示した条件を満足するように, 変換する。したがって, 補剛材のある有限小領域で合成された応力ひずみマトリックスは, $[D'_c] = [D_c] + [D_s]$ となる。つまり, 母体のせん断すべりの解析は, 材料の仮定として弾完全塑性体とし, 塑性域での応力ひずみ関係は flow-rule にしたがうものとして解析する。降伏条件を塑性ポテンシャル ϕ による各荷重段階を j とすれば

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} - \sum_j \{D_c\} \mu_j \frac{\partial f}{\partial \sigma_j}$$

ただし, μ : 塑性変形中変化するスカラー量
本解析の降伏曲面は図-3に示す, 折角で仮定した。解法の詳細は, 前論文²⁾³⁾を参照されたい。

次に解析条件として, 図-2に示すような等分荷重と両面固定の厚い正方形スラブについて, 前論文¹⁾の弾性計算をもとに配筋をおこなない, 次の4つの材料特性の効果について, 計算をおこなった。

ただし母体のポアソン比 ν は0.2である

実験(1) 母体のひびわれ現象の解析 (引張限界応力 $\sigma_x = 0.1\sigma_K$, せん断抵減率 $\beta = 1.0$)

実験(2) 母体のひびわれ現象の解析 (引張限界応力 $\sigma_x = 0.1\sigma_K$, せん断抵減率 $\beta = 0.5$)

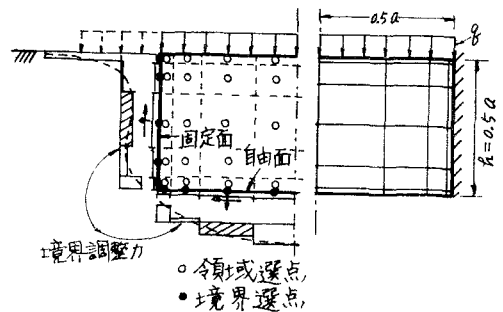


図-2

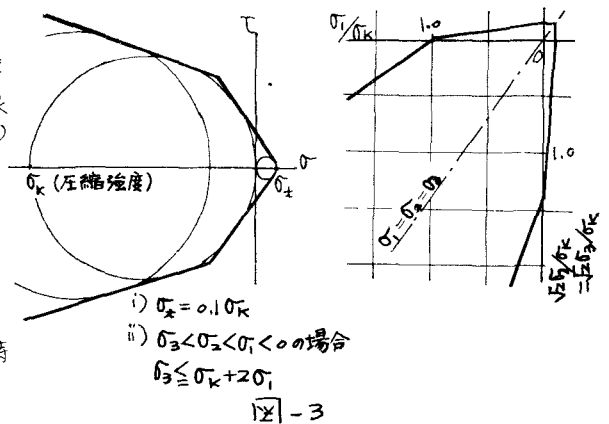


図-3

実験(3) 母体のせん断すべりの解析 (図-3の降伏条件式)

実験(4) 母体のひびわれ現象 (実験(2)), および母体のせん断すべりの現象 (実験(3))
を合成した解析

4. 計算結果

配筋による不均質性の影響を, スパン中央および, 固定部分の応力状態について, 図-4に示した。線形状態(ひびわれ発生前)では鉄筋量の多い固定部の上部(鉄筋比: 0.1)を除いて, 応力状態にほとんど差はみられない。

図-5は, ひびわれ現象の進展状態を示したものであるが, 実験(3)のせん断すべりを考慮した場合は, 塑性域のスパン中央への進展が顕著である。本問題のような, 等価荷重をうける。周面固定の厚いスラブでは, 固定部分のせん断力により, 破壊が進展するようである。すなわち, 主応力説による, 実験(1)(2)では, 斜引張応力により, 実験(3)(4)では, 固定部のせん断すべりにより, 放物線状に, ひびわれが, スパン中央に進展している。

図-6は, 同様に, スパン中央, および, 固定部分の応力状態の変化も, 鉄筋のうけもつ応力も合成して描いたものである。一方, 図-7は, 母体の主応力状態を梨形状態(ひびわれ発生

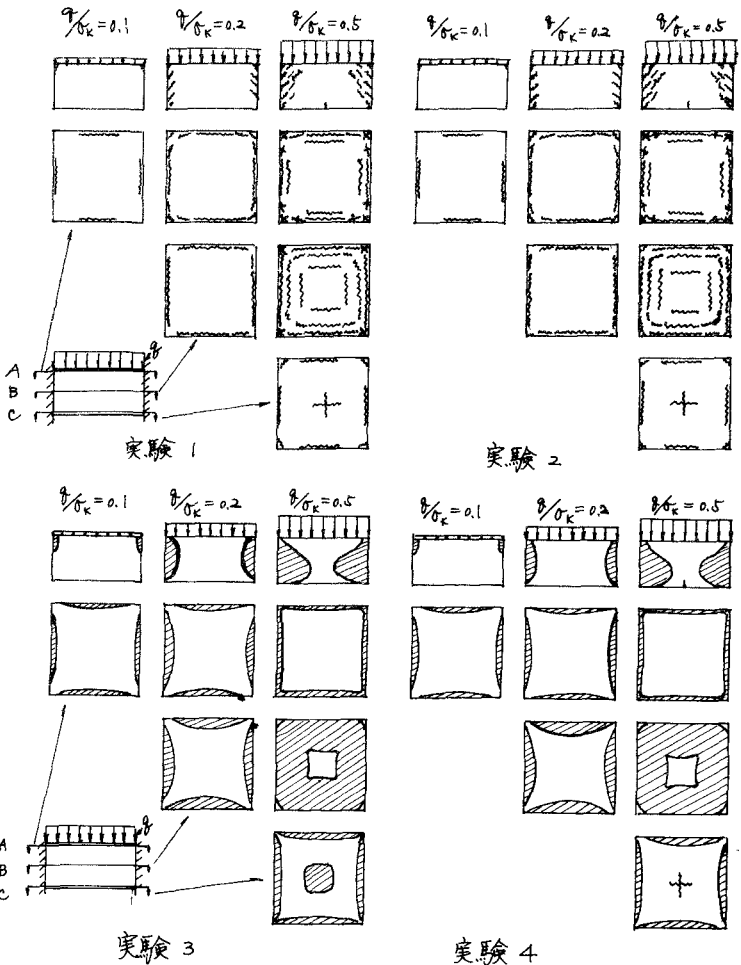
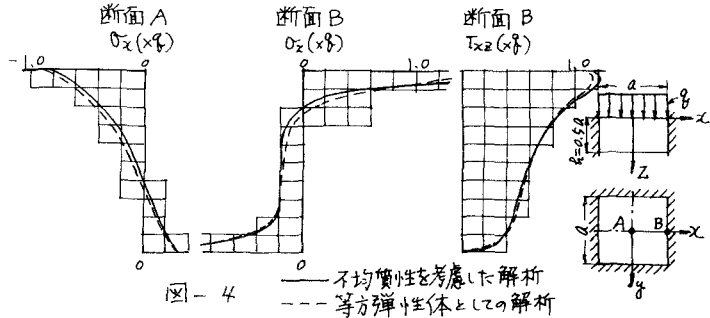


図-5 ひびわれ(塑性域)の進展状態

前)と、荷重強度 q が圧縮強度の0.5倍 ($q/\sigma_k = 0.5$)まで達し、固定部分で、全面にわたって、ひびわれが進展した状態とを対比して示したものである。図-6の応力状態についてみれば、ひびわれ発生前のものと対比し、ひびわれの進展によって、応力に差があらわれ、特に固定部分では、その差が大きく、分布形状にも変化が見られる。

図-7は、荷重-たわみ曲線を示したもので、線形解(等方弾性体としての解析値)と比較し、 $q/\sigma_k = 0.5$ で、1.2倍の差が見られる。図-7で同じようなひびわれの進展状態を示した、実験(1)の場合でも破壊面のせい断抵抗を0と仮定した実験(1)は、せい断抵抗が半減すると仮定した実験(2)の場合と比較し、わずかではあるが大きくなっている。

5. おさへ

$q/\sigma_k = 0.5$ の厚いスラブに等分布荷重が作用する問題をテーマに数値実験をおこなった。本解析結果から、せん断すべりの影響が、ひびわれ現象に重要な要素となることがわかれる。

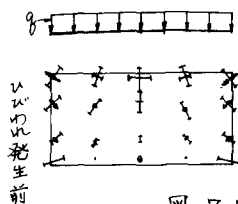


図-7 母体の主応力図

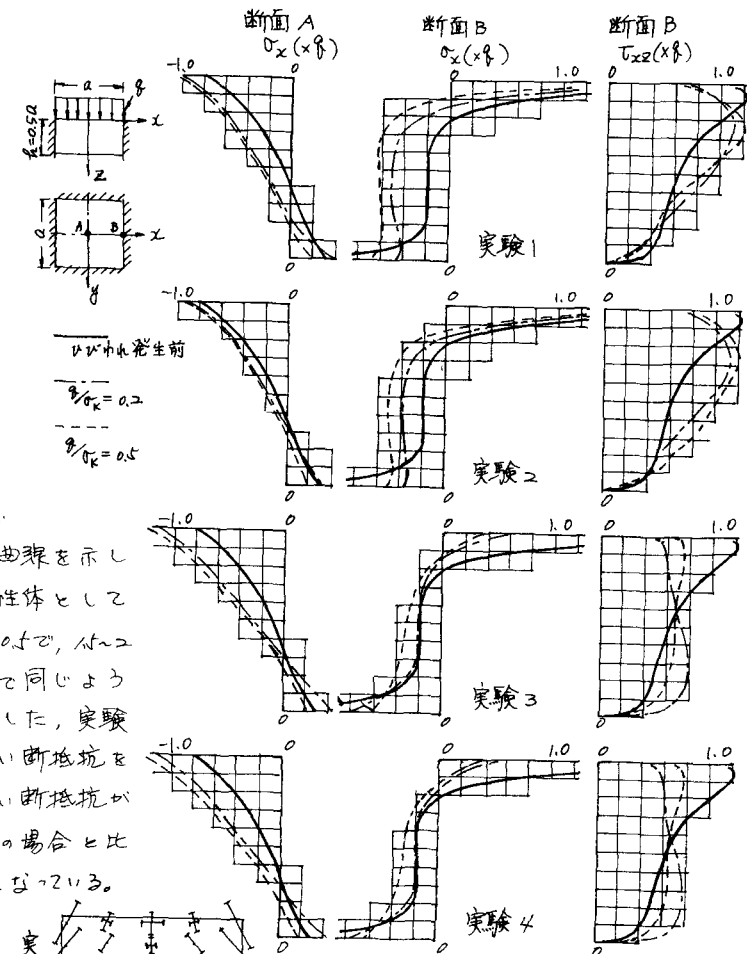


図-6 応力分布の変化

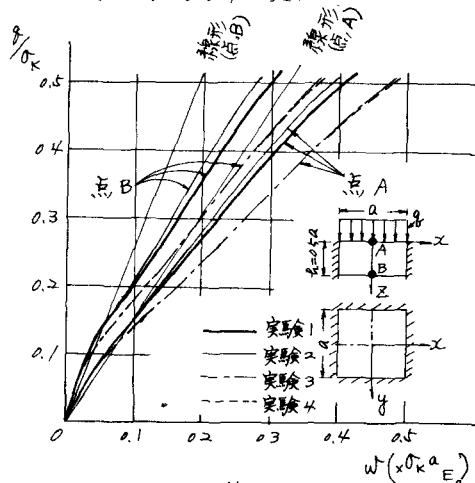


図-8 荷重にわみ曲線