

東洋技研コンサルタント 正員 島田 功
 大阪工業大学 正員 岡村宏一
 大阪市立大学 正員 園田恵一郎

1. まえがき: フレテンシヨニング版(PC版)は、フレキャスト製品として良好な品質管理の下に製作され、信頼性の高いものであり、施工の単純化、省カ化などのため、目的に応じ数多く用いられている。ところで、PC版は、一般に厚さが薄く、使用するPC鋼線の配置や径によっては、定着部にあらわれる鋼線直角方向の引張応力により、PC鋼線にそったひびわれが発生しやすい。本報告は、PC版の導入応力による、この定着部の局所応力の分布と大きさを把握するため、境界積分法により3次元弾性応力解析したものである。境界積分法は未知量を境界上のみに選ぶため、有限要素法のような領域型の解法に比べ、方程式の元数を大幅に減少しうるとともに、本問題のような応力集中現象に対する解析にも適していると思われる。

2. 解法: 図-1に示すように、PC鋼線が均等に配列された厚さ h のPC版は、1本のPC鋼線を含む幅 b (b は鋼線のピッチ)の、斜線部分の角棒を単位としたものの集合と考えられる。3次元問題に対する境界積分法では、一般に、無限体の場合のKelvin解が基本解として用いられるが、基本解として、解析領域の境界条件を一部分でも満足しているような解を用いれば、境界上での条件を課する範囲をさらに縮小することができ、計算精度の点からも望ましいものとなる。筆者は、このような観点から、上記のような自由表面を持つ角棒の問題を、境界積分法により精度よく解析するための基本解(図-2に示すように2つの直交する面を有する1/4-無限体の解析解で、鏡像原理によって誘導した)とその適用について、すでに報告した^{(1),(2),(3)}。本解析に、図-2に示す1/4-無限体の解を基本解として用いれば、図-3(a)に示すように、2つの自由な境界と表面力の条件を満足しており、残りの境界条件は、図-3(b)のような、境界要素のメッシュによって与えることができる。ところで、本問題は、コンクリートと剛性の異なる鋼線を内蔵した複合構造であり、PC鋼線とコンクリートの適合条件により、付着力として、鋼線からコンクリートに伝達される力を考慮しなければならない。この力は、鋼線とコンクリートとの剛性の差異によってあらわれ、3次元弾性の基礎微分方程式から、物体力と同じ性質を持つ物理量として与えられる⁽⁴⁾。その物理量($\times$: 物体力)は次式となる。

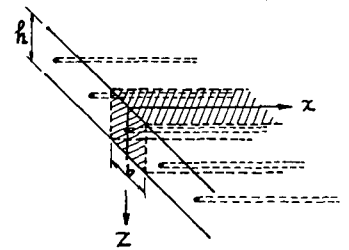


図-1 PC版

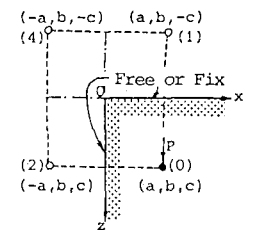
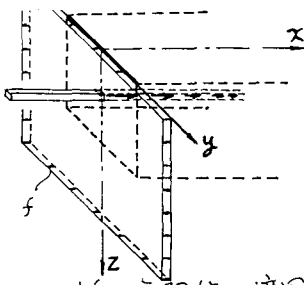


図-2 1/4-infinite solid

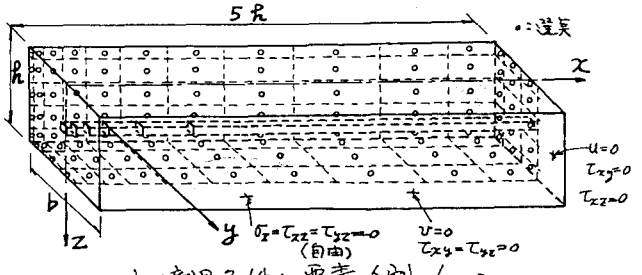
$$X = \frac{n-1}{n} \frac{\partial \sigma_p}{\partial x}$$

n : ヤング率比
 σ_p : 鋼線軸応力

すなわち、PC鋼線の軸力分布に比例する力を鋼線既



(a) 1/4-無限体の適用



(b) 境界条件と要素分割メッシュ

図-3 境界積分法による解析モデル

置の部分に働かせることにより、付着力としてコンクリートに伝達される現象があらわされる。本解析では、図-3(b)に示すように、有限小領域で等分布する力の集合として、この体積力を近似し、その分布は、軸力が収束するまで数回のイテレーションにより与えた。また、鋼線の断面は等面積の正方形とした。なお、図-31は、PC版を切断した時の、定着部近傍を解析する模様を示したもので、実際の応力は、等応力(5)で与えられる有効プレストレス量を付加して得られる。

3. 計算結果：鋼線ピッチ(b)と鋼線断面積(A_{sp})に、図-4のような比例関係があるものとし、3つのケースについて解析した。図-5(a)は、ケース2の場合について、イテレーションの回数と鋼線軸力の分布を示したもので、4回程度の繰返

して収束した。他のケースも同様である。収束した鋼線軸力の分布は、図-5(b)となり、鋼線ピッチが粗くなるほど、定着長が長くなることがわかる。なお、ヤング率比 $n=6$ とした。

図-6には、有効プレストレスによる変位を差引いた、定着端変位を示した。図-7は、鋼線

にそったひびわれ発生の原因となる、コンクリート表面の鋼線直角方向応力の分布を鋼線にそって示したものである。図-8は、フレテンション部材のエッジ効果を把握するための測定モデルを、図-9は、本解析結果と、測定結果⁵⁾を対比したものである。両者の傾向は似ているが、実測値の方が小さい。その原因として、弾性解析では定着端の付着応力が非常に大きく、実

際にはバントスリップしているものと思われる。現在、このような影響も考慮した解析を進めている。

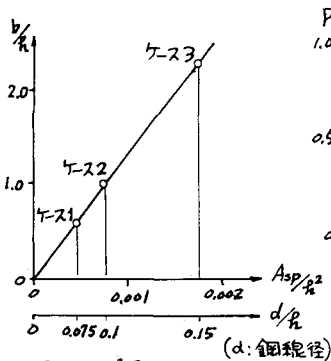


図-4 解析ケース

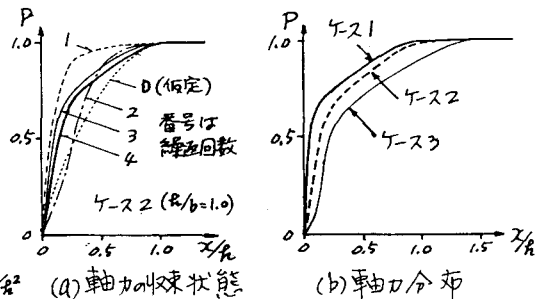


図-5 鋼線軸力 (P はプレストレス)

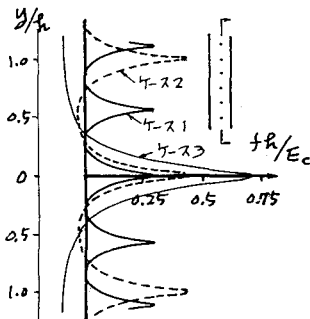


図-6 endの変位

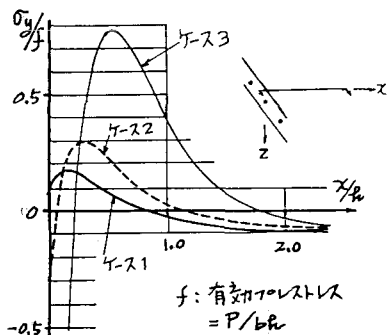


図-7 鋼線直角方向応力

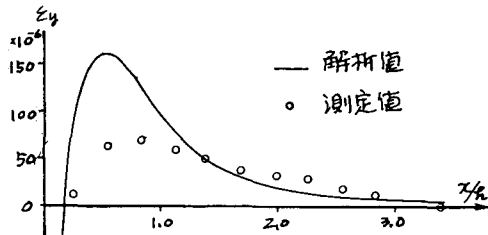


図-9 ひずみ分布 (E_y)

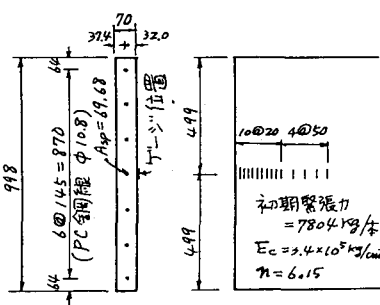


図-8 試験体寸法(単位:mm)

- 1) Shimada, I., Okamura, H. and Sonoda, K.: Elastic solution of a 1/4- or 1/8-infinite solid with a force at a point in its interior, Memoirs of Faculty of Engr., Osaka City University, Vol.22 (1981).
- 2) Shimada, I., Okamura, H. and Sonoda, K.: Some kinds of fundamental solutions applicable to Boundary Element Methods for three dimensional elastic problems, An International Conference on FEM, Shanghai, China (1982).
- 3) 島田, 岡村, 園田: 種々な3次元弾性基本解の境界積分法への適用について, 第37回年次学術講演会概要 I (1982).
- 4) 岡村, 島田: 弾塑性もしくは不均質弾性は有する3次元体の一数值解法, 土木学会論文報告集, 212号(1973).
- 5) 阪神高速道路公社, 日本材料学会: PC埋設型橋梁の耐荷性状に関する調査研究報告書 (1972).