

北海道大学 正員 〇上 田 正 生
北海道大学 正員 土 橋 由 造

はじめに 鉄筋コンクリート床版の材料非線形解析法としては、現時点において、積層化有限要素法が、最も信頼性が高く、且つ利便の多い方法と思われるがこの積層化手法には基本的に全く異なる二つの方式がある。この方式の違いは、コンクリートの亀裂の発生等による中立面の移動に対処するための、便宜的な膜力を導入しているか、否かによるものであり、換言すれば、定式化の際に変数として面内変位を含ませるか、否かの相違となる。前者の方式は Hand¹⁾ の、後者は Wanchoo²⁾ の研究に代表されるものであるが、両方式の適合性についての検討は未だなされていないようである。本報告は、この2方式3類の解の差違を明らかにするため、混合法による定式化を行い、2軸応力下のコンクリートに、2種類の応力-歪関係をを用いた解析結果と実験値とを比較し、それぞれの解の適応性についての検討を行ったものである。

1. 解析法の概要

本報告の材料非線形解析法は、初期応力性に基づくものであつて、既往の変形法による積層要素法と同様、法線保持と微小変形理論に基礎を置いている。以下に本解析法の概要を略述する。

(1) H方式とW方式 Hellinger-Reissnerの変分原理による増分汎関数を用い、次の2方式に準拠して定式化を行う。

H方式：膜力を導入した Handの手法に準じたもので、独立変数は面内及び鉛直変位増分 $\Delta u, \Delta v, \Delta w$ と、モーメント増分 $\Delta M_x, \Delta M_y, \Delta M_{xy}$ である。

W方式：膜力無視の Wanchoo 方式に属するもので、独立変数としては、鉛直変位増分 Δw と、モーメント増分 $\Delta M_x, \Delta M_y, \Delta M_{xy}$ である。

又、HとW両方式の変数の形状関数として、変位増分は要素内線形、モーメント増分は一定の3角形要素を使用する。

(2) コンクリートの応力-歪関係と破壊条件 2軸応力下にあるコンクリートの応力-歪関係として、次の2種類のものを用いる。

D-型：Darwin等⁴⁾の応力-歪マトリクスを基本モデルとして使用し、破壊後の応力を図2(a)の仮定曲線に従つて解除する。

E-型：コンクリートを2軸圧縮領域においてのみ完全弾-塑性性体、他の領域では弾性-亀裂材料として取り扱い応力-歪関係を採用する。

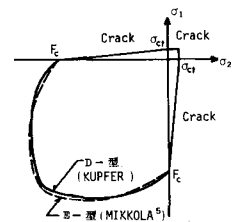
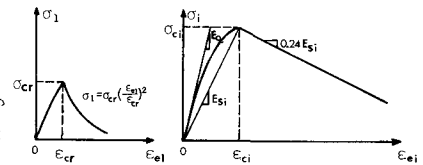
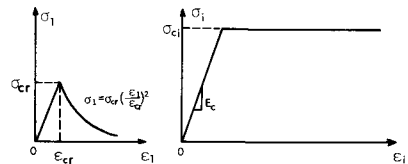


図1 コンクリートの仮定破壊曲面



(a) D-型



(b) E-型

図2 コンクリートの応力-歪関係

表1 解析に用いた実験床版の形状寸法と使用材料の諸元

床版の種類	寸法	版厚	鉄筋比 %	鉄筋位置	鉄筋の材料性状		コンクリートの材料性状					
					E_s kg/cm ²	σ_y kg/cm ²	E_c kg/cm ²	E_{cr} kg/cm ²	F_c kg/cm ²	σ_{ct1} kg/cm ²	σ_{ct2} kg/cm ²	ϵ_c %
Jofriet and Mcneice床版	36x36 in	1.75 in	$p_x=p_y=0.85$	1.31 in	2.0×10^6	3515.0	3.5×10^5	2.9×10^5	386.6	32.0	0.23	
2対辺単純	180x60 cm	8.09 cm	$p_x=p_y=0.20$	5.32 cm	2.1×10^6	5200.0	2.6×10^5	2.1×10^5	225.5	20.7	0.21	
支持他辺自由	"	8.23 "	$p_x=p_y=0.29$	5.67 "	"	6300.0	"	"	"	"	"	
No.2	"	8.33 "	$p_x=p_y=0.71$	5.60 "	"	3800.0	"	"	"	"	"	
No.3	"	7.90 "	$p_x=p_y=1.34$	5.03 "	"	"	"	"	"	"	"	
No.4	"	8.15 "	$p_x=p_y=2.07$	5.14 "	"	"	"	"	"	"	"	
片持床版	95x90 cm	15.3 cm	$p_x=0.667, p_y=0.259$ $p_x=p_y=0.259$	4.5 cm 12.7 "	2.1×10^6	3800.0	2.4×10^5	1.8×10^5	228.0	16.5	0.22	
周辺拘束床版	120x120 cm	4.97 cm	$p_x=p_y=0.32$	2.8 cm	2.1×10^6	4500.0	2.5×10^5	2.0×10^5	245.2	19.2	0.21	

注： 1) 鉄筋比は全版厚に対する値、 2) 鉄筋位置は版上面から鉄筋中心までの距離

又、D-型及びE-型のコンクリートの破壊曲面を図1に示す。

2 実験値と解析値の比較と考察

HとW方式の解の適応性を調べるため、著者及び Jofriet 等の4種別計8枚の試験用床版について、実験結果と解析値との比較を試みる。表1に、各

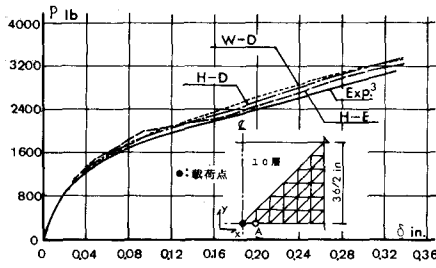


図3 JofrietとMcNeiceの4隅点支持床版のA点の荷重-撓み曲線

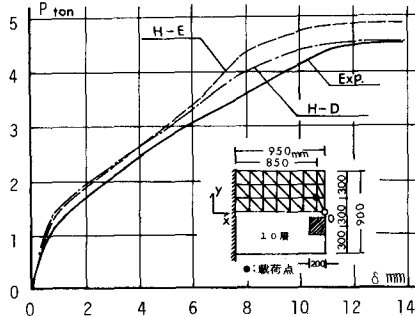


図4 片持床版のO点の荷重-撓み曲線の比較

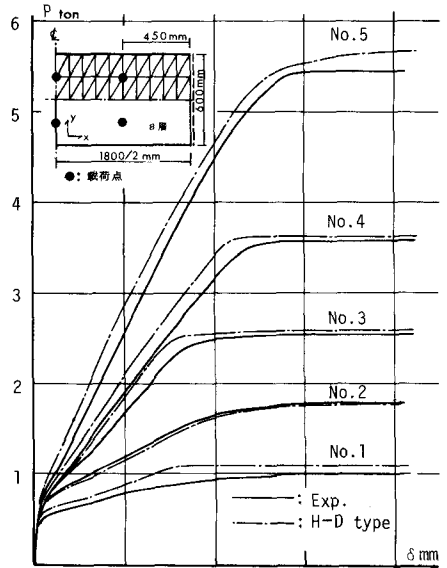


図5 2対単純支持他辺自由床版の中央点の荷重-撓み曲線の比較

床版の形状寸度と使用材料の諸元を掲げた。図3、4、5、7には各スラブの主要点の荷重-撓み曲線を対比して示したが、図中には、H方式によるD-型の

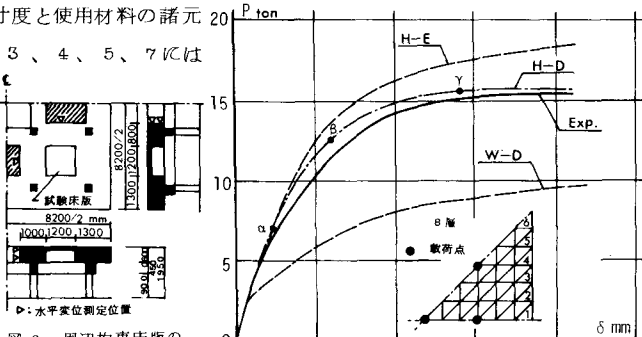


図6 周辺拘束床版の補剛架構

図7 周辺拘束床版の中央点における荷重-撓み曲線の比較

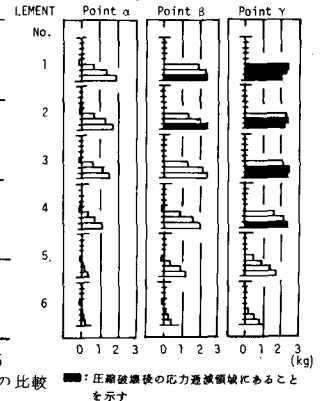


図8 周辺拘束床版の拘束辺に沿う版厚方向の応力分布の推移 (H-D type 解)

応力-歪関係を用いた解〔H-D type〕とE-型の解〔H-E type〕、及び、W方式によるD-型解〔W-D type〕のいずれかの値を記入した。そのうち図3、7には、3種類の凡ての解を併記したが、図3の Jofriet の床版では、コンクリートには圧縮破壊が生ぜず、且つ版内に圧縮膜力が発生せぬため、各解析値間には、解法の相違による差は殆ど認められない。これに対して、図7の周辺拘束床版の場合には、3種類の解はそれぞれ著るしく異なっており、特に、亀裂の発生と共に、版内に圧縮膜力の生起するこの種の床版には、W方式の解は適応せず、又、拘束辺中央下部のコンクリートに圧縮破壊が生ずるために(図8)、H方式の解であつてもE-型よりD-型の解が、より実験曲線に近似しており、圧縮破壊後のコンクリートに応力の減衰を考慮する必要性のあることを知る。以上、4種別の床版の実験結果と解析の比較から、凡てを通して最もよい適合性を有する解は、H-D typeであることを知り得る。

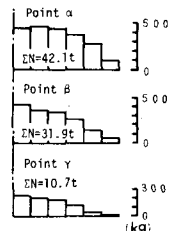


図9 周辺拘束床版の拘束辺に沿う膜力分布の推移 (H-D type 解)

参考文献) 1) F.R.Hand et al.[Nonlinear Layered Analysis of RC Plate and Shells] ASCE,Vol.99,ST7,1973, 2) M.K.Wanchoo et al.[Cracking Analysis of Reinforced Concrete Plates] ASCE,Vol.101,ST1,1975, 3) J.C.Jofriet et al.[Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slabs] ASCE,Vol.97,ST3,1970, 4) D.Darwin et al.[Nonlinear Biaxial Stress-Strain Law for Concrete] ASCE,Vol.103,EM2,1977, 5) M.J.Mikkola et al.[Material Behavior Characteristics for Reinforced Concrete Shells Stress Beyond the Elastic Range] Civil Engineering Studies,SRS,No.367,Univ.Illinois,1970