

I-110 板の弾塑性問題における有限要素解析

名古屋大学 学生員 ○梶田建夫
名古屋大学 正員 成岡昌夫

等方性長方形板の弾塑性解析は、数値計算法の発達とともに、多くの研究がなされてきた。Massonet や、Yokoo, Nakamura and Mori は格差法を用いて、Aing and Lopez は discrete model を用いて、Marcal, Aranen, McNeice は有限要素法を用いて解析をおこなっている。長方形板については、種々の研究がなされているが、平行四辺形板や、三角形板などの形状の板については、降伏線理論のような極限解析では取り扱われていいが、塑性域を考慮した弾塑性解析はあまりおこなわれていないようである。有限要素法が、このような形状の板の弾塑性解析に有効に用いられるることは明らかであるが、これに用いられる三角形板曲げ要素で、精度が高く、応力分布を正しく表わす剛性行列が得られないため、今まであまり用いられなかった。最近 Bell や Cowper, Kosko, Lindberg and Olson により説明された。CCT-18要素は、今までの三角形要素に較べ精度が高く、各節点で曲げモーメント、ねじりモーメントが連続となるという特徴を持っている。ここでは、この CCT-18 要素を用いた板の弾塑性解析について、simple plastic theory にそった解析法と、板厚方向の塑性域を考慮した解析法について示す。

1. CCT-18要素について

この要素の剛性行列は、要素内の変位に五次の完全多項式を用いた CCT-21要素より得られる。

$$W = \{ \dots, G_1^5, G_2^5, G_3^5, G_4^5, G_5^5, G_6^5, G_7^5, G_8^5, G_9^5, G_{10}^5, G_{11}^5, G_{12}^5, G_{13}^5, G_{14}^5, G_{15}^5, G_{16}^5, G_{17}^5, G_{18}^5, G_{19}^5, G_{20}^5, G_{21}^5, G_{22}^5, G_{23}^5, G_{24}^5, G_{25}^5, G_{26}^5, G_{27}^5, G_{28}^5, G_{29}^5, G_{30}^5, G_{31}^5, G_{32}^5, G_{33}^5, G_{34}^5, G_{35}^5, G_{36}^5, G_{37}^5, G_{38}^5, G_{39}^5, G_{40}^5, G_{41}^5, G_{42}^5, G_{43}^5, G_{44}^5, G_{45}^5, G_{46}^5, G_{47}^5, G_{48}^5, G_{49}^5, G_{50}^5, G_{51}^5, G_{52}^5, G_{53}^5, G_{54}^5, G_{55}^5, G_{56}^5, G_{57}^5, G_{58}^5, G_{59}^5, G_{60}^5, G_{61}^5, G_{62}^5, G_{63}^5, G_{64}^5, G_{65}^5, G_{66}^5, G_{67}^5, G_{68}^5, G_{69}^5, G_{70}^5, G_{71}^5, G_{72}^5, G_{73}^5, G_{74}^5, G_{75}^5, G_{76}^5, G_{77}^5, G_{78}^5, G_{79}^5, G_{80}^5, G_{81}^5, G_{82}^5, G_{83}^5, G_{84}^5, G_{85}^5, G_{86}^5, G_{87}^5, G_{88}^5, G_{89}^5, G_{90}^5, G_{91}^5, G_{92}^5, G_{93}^5, G_{94}^5, G_{95}^5, G_{96}^5, G_{97}^5, G_{98}^5, G_{99}^5, G_{100}^5, G_{101}^5, G_{102}^5, G_{103}^5, G_{104}^5, G_{105}^5, G_{106}^5, G_{107}^5, G_{108}^5, G_{109}^5, G_{110}^5, G_{111}^5, G_{112}^5, G_{113}^5, G_{114}^5, G_{115}^5, G_{116}^5, G_{117}^5, G_{118}^5, G_{119}^5, G_{120}^5, G_{121}^5, G_{122}^5, G_{123}^5, G_{124}^5, G_{125}^5, G_{126}^5, G_{127}^5, G_{128}^5, G_{129}^5, G_{130}^5, G_{131}^5, G_{132}^5, G_{133}^5, G_{134}^5, G_{135}^5, G_{136}^5, G_{137}^5, G_{138}^5, G_{139}^5, G_{140}^5, G_{141}^5, G_{142}^5, G_{143}^5, G_{144}^5, G_{145}^5, G_{146}^5, G_{147}^5, G_{148}^5, G_{149}^5, G_{150}^5, G_{151}^5, G_{152}^5, G_{153}^5, G_{154}^5, G_{155}^5, G_{156}^5, G_{157}^5, G_{158}^5, G_{159}^5, G_{160}^5, G_{161}^5, G_{162}^5, G_{163}^5, G_{164}^5, G_{165}^5, G_{166}^5, G_{167}^5, G_{168}^5, G_{169}^5, G_{170}^5, G_{171}^5, G_{172}^5, G_{173}^5, G_{174}^5, G_{175}^5, G_{176}^5, G_{177}^5, G_{178}^5, G_{179}^5, G_{180}^5, G_{181}^5, G_{182}^5, G_{183}^5, G_{184}^5, G_{185}^5, G_{186}^5, G_{187}^5, G_{188}^5, G_{189}^5, G_{190}^5, G_{191}^5, G_{192}^5, G_{193}^5, G_{194}^5, G_{195}^5, G_{196}^5, G_{197}^5, G_{198}^5, G_{199}^5, G_{200}^5, G_{201}^5, G_{202}^5, G_{203}^5, G_{204}^5, G_{205}^5, G_{206}^5, G_{207}^5, G_{208}^5, G_{209}^5, G_{210}^5, G_{211}^5, G_{212}^5, G_{213}^5, G_{214}^5, G_{215}^5, G_{216}^5, G_{217}^5, G_{218}^5, G_{219}^5, G_{220}^5, G_{221}^5, G_{222}^5, G_{223}^5, G_{224}^5, G_{225}^5, G_{226}^5, G_{227}^5, G_{228}^5, G_{229}^5, G_{230}^5, G_{231}^5, G_{232}^5, G_{233}^5, G_{234}^5, G_{235}^5, G_{236}^5, G_{237}^5, G_{238}^5, G_{239}^5, G_{240}^5, G_{241}^5, G_{242}^5, G_{243}^5, G_{244}^5, G_{245}^5, G_{246}^5, G_{247}^5, G_{248}^5, G_{249}^5, G_{250}^5, G_{251}^5, G_{252}^5, G_{253}^5, G_{254}^5, G_{255}^5, G_{256}^5, G_{257}^5, G_{258}^5, G_{259}^5, G_{260}^5, G_{261}^5, G_{262}^5, G_{263}^5, G_{264}^5, G_{265}^5, G_{266}^5, G_{267}^5, G_{268}^5, G_{269}^5, G_{270}^5, G_{271}^5, G_{272}^5, G_{273}^5, G_{274}^5, G_{275}^5, G_{276}^5, G_{277}^5, G_{278}^5, G_{279}^5, G_{280}^5, G_{281}^5, G_{282}^5, G_{283}^5, G_{284}^5, G_{285}^5, G_{286}^5, G_{287}^5, G_{288}^5, G_{289}^5, G_{290}^5, G_{291}^5, G_{292}^5, G_{293}^5, G_{294}^5, G_{295}^5, G_{296}^5, G_{297}^5, G_{298}^5, G_{299}^5, G_{300}^5, G_{301}^5, G_{302}^5, G_{303}^5, G_{304}^5, G_{305}^5, G_{306}^5, G_{307}^5, G_{308}^5, G_{309}^5, G_{310}^5, G_{311}^5, G_{312}^5, G_{313}^5, G_{314}^5, G_{315}^5, G_{316}^5, G_{317}^5, G_{318}^5, G_{319}^5, G_{320}^5, G_{321}^5, G_{322}^5, G_{323}^5, G_{324}^5, G_{325}^5, G_{326}^5, G_{327}^5, G_{328}^5, G_{329}^5, G_{330}^5, G_{331}^5, G_{332}^5, G_{333}^5, G_{334}^5, G_{335}^5, G_{336}^5, G_{337}^5, G_{338}^5, G_{339}^5, G_{340}^5, G_{341}^5, G_{342}^5, G_{343}^5, G_{344}^5, G_{345}^5, G_{346}^5, G_{347}^5, G_{348}^5, G_{349}^5, G_{350}^5, G_{351}^5, G_{352}^5, G_{353}^5, G_{354}^5, G_{355}^5, G_{356}^5, G_{357}^5, G_{358}^5, G_{359}^5, G_{360}^5, G_{361}^5, G_{362}^5, G_{363}^5, G_{364}^5, G_{365}^5, G_{366}^5, G_{367}^5, G_{368}^5, G_{369}^5, G_{370}^5, G_{371}^5, G_{372}^5, G_{373}^5, G_{374}^5, G_{375}^5, G_{376}^5, G_{377}^5, G_{378}^5, G_{379}^5, G_{380}^5, G_{381}^5, G_{382}^5, G_{383}^5, G_{384}^5, G_{385}^5, G_{386}^5, G_{387}^5, G_{388}^5, G_{389}^5, G_{390}^5, G_{391}^5, G_{392}^5, G_{393}^5, G_{394}^5, G_{395}^5, G_{396}^5, G_{397}^5, G_{398}^5, G_{399}^5, G_{400}^5, G_{401}^5, G_{402}^5, G_{403}^5, G_{404}^5, G_{405}^5, G_{406}^5, G_{407}^5, G_{408}^5, G_{409}^5, G_{410}^5, G_{411}^5, G_{412}^5, G_{413}^5, G_{414}^5, G_{415}^5, G_{416}^5, G_{417}^5, G_{418}^5, G_{419}^5, G_{420}^5, G_{421}^5, G_{422}^5, G_{423}^5, G_{424}^5, G_{425}^5, G_{426}^5, G_{427}^5, G_{428}^5, G_{429}^5, G_{430}^5, G_{431}^5, G_{432}^5, G_{433}^5, G_{434}^5, G_{435}^5, G_{436}^5, G_{437}^5, G_{438}^5, G_{439}^5, G_{440}^5, G_{441}^5, G_{442}^5, G_{443}^5, G_{444}^5, G_{445}^5, G_{446}^5, G_{447}^5, G_{448}^5, G_{449}^5, G_{450}^5, G_{451}^5, G_{452}^5, G_{453}^5, G_{454}^5, G_{455}^5, G_{456}^5, G_{457}^5, G_{458}^5, G_{459}^5, G_{460}^5, G_{461}^5, G_{462}^5, G_{463}^5, G_{464}^5, G_{465}^5, G_{466}^5, G_{467}^5, G_{468}^5, G_{469}^5, G_{470}^5, G_{471}^5, G_{472}^5, G_{473}^5, G_{474}^5, G_{475}^5, G_{476}^5, G_{477}^5, G_{478}^5, G_{479}^5, G_{480}^5, G_{481}^5, G_{482}^5, G_{483}^5, G_{484}^5, G_{485}^5, G_{486}^5, G_{487}^5, G_{488}^5, G_{489}^5, G_{490}^5, G_{491}^5, G_{492}^5, G_{493}^5, G_{494}^5, G_{495}^5, G_{496}^5, G_{497}^5, G_{498}^5, G_{499}^5, G_{500}^5, G_{501}^5, G_{502}^5, G_{503}^5, G_{504}^5, G_{505}^5, G_{506}^5, G_{507}^5, G_{508}^5, G_{509}^5, G_{510}^5, G_{511}^5, G_{512}^5, G_{513}^5, G_{514}^5, G_{515}^5, G_{516}^5, G_{517}^5, G_{518}^5, G_{519}^5, G_{520}^5, G_{521}^5, G_{522}^5, G_{523}^5, G_{524}^5, G_{525}^5, G_{526}^5, G_{527}^5, G_{528}^5, G_{529}^5, G_{530}^5, G_{531}^5, G_{532}^5, G_{533}^5, G_{534}^5, G_{535}^5, G_{536}^5, G_{537}^5, G_{538}^5, G_{539}^5, G_{540}^5, G_{541}^5, G_{542}^5, G_{543}^5, G_{544}^5, G_{545}^5, G_{546}^5, G_{547}^5, G_{548}^5, G_{549}^5, G_{550}^5, G_{551}^5, G_{552}^5, G_{553}^5, G_{554}^5, G_{555}^5, G_{556}^5, G_{557}^5, G_{558}^5, G_{559}^5, G_{560}^5, G_{561}^5, G_{562}^5, G_{563}^5, G_{564}^5, G_{565}^5, G_{566}^5, G_{567}^5, G_{568}^5, G_{569}^5, G_{570}^5, G_{571}^5, G_{572}^5, G_{573}^5, G_{574}^5, G_{575}^5, G_{576}^5, G_{577}^5, G_{578}^5, G_{579}^5, G_{580}^5, G_{581}^5, G_{582}^5, G_{583}^5, G_{584}^5, G_{585}^5, G_{586}^5, G_{587}^5, G_{588}^5, G_{589}^5, G_{590}^5, G_{591}^5, G_{592}^5, G_{593}^5, G_{594}^5, G_{595}^5, G_{596}^5, G_{597}^5, G_{598}^5, G_{599}^5, G_{600}^5, G_{601}^5, G_{602}^5, G_{603}^5, G_{604}^5, G_{605}^5, G_{606}^5, G_{607}^5, G_{608}^5, G_{609}^5, G_{610}^5, G_{611}^5, G_{612}^5, G_{613}^5, G_{614}^5, G_{615}^5, G_{616}^5, G_{617}^5, G_{618}^5, G_{619}^5, G_{620}^5, G_{621}^5, G_{622}^5, G_{623}^5, G_{624}^5, G_{625}^5, G_{626}^5, G_{627}^5, G_{628}^5, G_{629}^5, G_{630}^5, G_{631}^5, G_{632}^5, G_{633}^5, G_{634}^5, G_{635}^5, G_{636}^5, G_{637}^5, G_{638}^5, G_{639}^5, G_{640}^5, G_{641}^5, G_{642}^5, G_{643}^5, G_{644}^5, G_{645}^5, G_{646}^5, G_{647}^5, G_{648}^5, G_{649}^5, G_{650}^5, G_{651}^5, G_{652}^5, G_{653}^5, G_{654}^5, G_{655}^5, G_{656}^5, G_{657}^5, G_{658}^5, G_{659}^5, G_{660}^5, G_{661}^5, G_{662}^5, G_{663}^5, G_{664}^5, G_{665}^5, G_{666}^5, G_{667}^5, G_{668}^5, G_{669}^5, G_{670}^5, G_{671}^5, G_{672}^5, G_{673}^5, G_{674}^5, G_{675}^5, G_{676}^5, G_{677}^5, G_{678}^5, G_{679}^5, G_{680}^5, G_{681}^5, G_{682}^5, G_{683}^5, G_{684}^5, G_{685}^5, G_{686}^5, G_{687}^5, G_{688}^5, G_{689}^5, G_{690}^5, G_{691}^5, G_{692}^5, G_{693}^5, G_{694}^5, G_{695}^5, G_{696}^5, G_{697}^5, G_{698}^5, G_{699}^5, G_{700}^5, G_{701}^5, G_{702}^5, G_{703}^5, G_{704}^5, G_{705}^5, G_{706}^5, G_{707}^5, G_{708}^5, G_{709}^5, G_{710}^5, G_{711}^5, G_{712}^5, G_{713}^5, G_{714}^5, G_{715}^5, G_{716}^5, G_{717}^5, G_{718}^5, G_{719}^5, G_{720}^5, G_{721}^5, G_{722}^5, G_{723}^5, G_{724}^5, G_{725}^5, G_{726}^5, G_{727}^5, G_{728}^5, G_{729}^5, G_{730}^5, G_{731}^5, G_{732}^5, G_{733}^5, G_{734}^5, G_{735}^5, G_{736}^5, G_{737}^5, G_{738}^5, G_{739}^5, G_{740}^5, G_{741}^5, G_{742}^5, G_{743}^5, G_{744}^5, G_{745}^5, G_{746}^5, G_{747}^5, G_{748}^5, G_{749}^5, G_{750}^5, G_{751}^5, G_{752}^5, G_{753}^5, G_{754}^5, G_{755}^5, G_{756}^5, G_{757}^5, G_{758}^5, G_{759}^5, G_{760}^5, G_{761}^5, G_{762}^5, G_{763}^5, G_{764}^5, G_{765}^5, G_{766}^5, G_{767}^5, G_{768}^5, G_{769}^5, G_{770}^5, G_{771}^5, G_{772}^5, G_{773}^5, G_{774}^5, G_{775}^5, G_{776}^5, G_{777}^5, G_{778}^5, G_{779}^5, G_{780}^5, G_{781}^5, G_{782}^5, G_{783}^5, G_{784}^5, G_{785}^5, G_{786}^5, G_{787}^5, G_{788}^5, G_{789}^5, G_{790}^5, G_{791}^5, G_{792}^5, G_{793}^5, G_{794}^5, G_{795}^5, G_{796}^5, G_{797}^5, G_{798}^5, G_{799}^5, G_{800}^5, G_{801}^5, G_{802}^5, G_{803}^5, G_{804}^5, G_{805}^5, G_{806}^5, G_{807}^5, G_{808}^5, G_{809}^5, G_{810}^5, G_{811}^5, G_{812}^5, G_{813}^5, G_{814}^5, G_{815}^5, G_{816}^5, G_{817}^5, G_{818}^5, G_{819}^5, G_{820}^5, G_{821}^5, G_{822}^5, G_{823}^5, G_{824}^5, G_{825}^5, G_{826}^5, G_{827}^5, G_{828}^5, G_{829}^5, G_{830}^5, G_{831}^5, G_{832}^5, G_{833}^5, G_{834}^5, G_{835}^5, G_{836}^5, G_{837}^5, G_{838}^5, G_{839}^5, G_{840}^5, G_{841}^5, G_{842}^5, G_{843}^5, G_{844}^5, G_{845}^5, G_{846}^5, G_{847}^5, G_{848}^5, G_{849}^5, G_{850}^5, G_{851}^5, G_{852}^5, G_{853}^5, G_{854}^5, G_{855}^5, G_{856}^5, G_{857}^5, G_{858}^5, G_{859}^5, G_{860}^5, G_{861}^5, G_{862}^5, G_{863}^5, G_{864}^5, G_{865}^5, G_{866}^5, G_{867}^5, G_{868}^5, G_{869}^5, G_{870}^5, G_{871}^5, G_{872}^5, G_{873}^5, G_{874}^5, G_{875}^5, G_{876}^5, G_{877}^5, G_{878}^5, G_{879}^5, G_{880}^5, G_{881}^5, G_{882}^5, G_{883}^5, G_{884}^5, G_{885}^5, G_{886}^5, G_{887}^5, G_{888}^5, G_{889}^5, G_{890}^5, G_{891}^5, G_{892}^5, G_{893}^5, G_{894}^5, G_{895}^5, G_{896}^5, G_{897}^5, G_{898}^5, G_{899}^5, G_{900}^5, G_{901}^5, G_{902}^5, G_{903}^5, G_{904}^5, G_{905}^5, G_{906}^5, G_{907}^5, G_{908}^5, G_{909}^5, G_{910}^5, G_{911}^5, G_{912}^5, G_{913}^5, G_{914}^5, G_{915}^5, G_{916}^5, G_{917}^5, G_{918}^5, G_{919}^5, G_{920}^5, G_{921}^5, G_{922}^5, G_{923}^5, G_{924}^5, G_{925}^5, G_{926}^5, G_{927}^5, G_{928}^5, G_{929}^5, G_{930}^5, G_{931}^5, G_{932}^5, G_{933}^5, G_{934}^5, G_{935}^5, G_{936}^5, G_{937}^5, G_{938}^5, G_{939}^5, G_{940}^5, G_{941}^5, G_{942}^5, G_{943}^5, G_{944}^5, G_{945}^5, G_{946}^5, G_{947}^5, G_{948}^5, G_{949}^5, G_{950}^5, G_{951}^5, G_{952}^5, G_{953}^5, G_{954}^5, G_{955}^5, G_{956}^5, G_{957}^5, G_{958}^5, G_{959}^5, G_{960}^5, G_{961}^5, G_{962}^5, G_{963}^5, G_{964}^5, G_{965}^5, G_{966}^5, G_{967}^5, G_{968}^5, G_{969}^5, G_{970}^5, G_{971}^5, G_{972}^5, G_{973}^5, G_{974}^5, G_{975}^5, G_{976}^5, G_{977}^5, G_{978}^5, G_{979}^5, G_{980}^5, G_{981}^5, G_{982}^5, G_{983}^5, G_{984}^5, G_{985}^5, G_{986}^5, G_{987}^5, G_{988}^5, G_{989}^5, G_{990}^5, G_{991}^5, G_{992}^5, G_{993}^5, G_{994}^5, G_{995}^5, G_{996}^5, G_{997}^5, G_{998}^5, G_{999}^5, G_{1000}^5, G_{1001}^5, G_{1002}^5, G_{1003}^5, G_{1004}^5, G_{1005}^5, G_{1006}^5, G_{1007}^5, G_{1008}^5, G_{1009}^5, G_{1010}^5, G_{1011}^5, G_{1012}^5, G_{1013}^5, G_{1014}^5, G_{1015}^5, G_{1016}^5, G_{1017}^5, G_{1018}^5, G_{1019}^5, G_{1020}^5, G_{1021}^5, G_{1022}^5, G_{1023}^5, G_{1024}^5, G_{1025}^5, G_{1026}^5, G_{1027}^5, G_{1028}^5, G_{1029}^5, G_{1030}^5, G_{1031}^5, G_{1032}^5, G_{1033}^5, G_{1034}^5, G_{1035}^5, G_{1036}^5, G_{1037}^5, G_{1038}^5, G_{1039}^5, G_{1040}^5, G_{1041}^5, G_{1042}^5, G_{1043}^5, G_{1044}^5, G_{1045}^5, G_{1046}^5, G_{1047}^5, G_{1048}^5, G_{1049}^5, G_{1050}^5, G_{1051}^5, G_{1052}^5, G_{1053}^5, G_{1054}^5, G_{1055}^5, G_{1056}^5, G_{1057}^5, G_{1058}^5, G_{1059}^5, G_{1060}^5, G_{1061}^5, G_{1062}^5, G_{1063}^5, G_{1064}^5, G_{1065}^5, G_{1066}^5, G_{1067}^5, G_{1068}^5, G_{1069}^5, G_{1070}^5, G_{1071}^5, G_{1072}^5, G_{1073}^5, G_{1074}^5, G_{1075}^5, G_{1076}^5, G_{1077}^5, G_{1078}^5, G_{1079}^5, G_{1080}^5, G_{1081}^5, G_{1082}^5, G_{1083}^5, G_{1084}^5, G_{1085}^5, G_{1086}^5, G_{1087}^5, G_{1088}^5, G_{1089}^5, G_{1090}^5, G_{1091}^5, G_{1092}^5, G_{1093}^5, G_{1094}^5, G_{1095}^5, G_{1096}^5, G_{1097}^5, G_{1098}^5, G_{1099}^5, G_{1100}^5, G_{1101}^5, G_{1102}^5, G_{1103}^5, G_{1104}^5, G_{1105}^5, G_{1106}^5, G_{1107}^5, G_{1108}^5, G_{1109}^5, G_{1110}^5, G_{1111}^5, G_{1112}^5, G_{1113}^5, G_{1114}^5, G_{1115}^5, G_{1116}^5, G_{1117}^5, G_{1118}^5, G_{1119}^5, G_{1120}^5, G_{1121}^5, G_{1122}^5, G_{1123}^5, G_{1124}^5, G_{1125}^5, G_{1126}^5, G_{1127}^5, G_{1128}^5, G_{1129}^5, G_{1130}^5, G_{1131}^5, G_{1132}^5, G_{1133}^5, G_{1134}^5, G_{1135}^5, G_{1136}^5, G_{1137}^5, G_{1138}^5, G_{1139}^5, G_{1140}^5, G_{1141}^5, G_{1142}^5, G_{1143}^5, G_{1144}^5, G_{1145}^5, G_{1146}^5, G_{1147}^5, G_{1148}^5, G_{1149}^5, G_{1150}^5, G_{1151}^5, G_{1152}^5, G_{1153}^5, G_{1154}^5, G_{1155}^5, G_{1156}^5, G_{1157}^5, G_{1158}^5, G_{1159}^5, G_{1160}^5, G_{1161}^5, G_{1162}^5, G_{1163}^5, G_{1164}^5, G_{1165}^5, G_{1166}^5, G_{1167}^5, G_{1168}^5, G_{1169}^5, G_{1170}^5, G_{1171}^5, G_{1172}^5, G_{1173}^5, G_{1174}^5, G_{1175}^5, G_{1176}^5, G_{1177}^5, G_{1178}^5, G_{1179}^5, G_{1180}^5, G_{1181}^5, G_{1182}^5, G_{1183}^5, G_{1184}^5, G_{1185}^5, G_{1186}^5, G_{1187}^5, G_{1188}^5, G_{1189}^5, G_{1190}^5, G_{1191}^5, G_{1192}^5, G_{1193}^5, G_{1194}^5, G_{1195}^5, G_{1196}^5, G_{1197}^5, G_{1198}^5, G_{1199}^5, G_{1200}^5, G_{1201}^5, G_{1202}^5, G_{1203}^5, G_{1204}^5, G_{1205}^5, G_{1206}^5, G_{1207}^5, G_{1208}^5, G_{1209}^5, G_{1210}^5, G_{1211}^5, G_{1212}^5, G_{1213}^5, G_{1214}^5, G_{1215}^5, G_{1216}^5, G_{1217}^5, G_{1218}^5, G_{1219}^5, G_{1220}^5, G_{1221}^5, G_{1222}^5, G_{1223}^5, G_{1224}^5, G_{1225}^5, G_{1226}^5, G_{1227}^5, G_{1228}^5, G_{1229}^5, G_{1230}^5, G_{1231}^5, G_{1232}^5, G_{1233}^5, G_{1234}^5, G_{1235}^5, G_{1236}^5, G_{1237}^5, G_{1238}^5, G_{1239}^5, G_{1240}^5, G_{1241}^5, G_{1242}^5, G_{1243}^5, G_{1244}^5, G_{1245}^5, G_{1246}^5, G_{1247}^5, G_{1248}^5, G_{1249}^5, G_{1250}^5, G_{1251}^5, G_{1252}^5, G_{1253}^5, G_{1254}^5, G_{1255}^5, G_{1256}^5, G_{1257}^5, G_{1258}^5, G_{1259}^5, G_{1260}^5, G_{1261}^5, G_{1262}^5, G_{1263}^5, G_{1264}^5, G_{1265}^5, G_{1266}^5, G_{1267}^5, G_{1268}^5, G_{1269}^5, G_{1270}^5, G_{1271}^5, G_{1272}^5, G_{1273}^5, G_{1274}^5, G_{1275}^5, G_{1276}^5, G_{1277}^5, G_{1278}^5, G_{1279}^5, G_{1280}^5, G_{1281}^5, G_{1282}^5, G_{1283}^5, G_{1284}^5, G_{1285}^5, G_{1286$$

となる。ここで、 $\{G\} = [K]^{-1}\{F\} - [K]^{-1}\{R\}$ 、 $\{\delta^i\} = \{P^i, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$ である。この行列 $[G]$ を用いて、各節点の主曲げモーメントを計算し、つぎのようにあらわす。

$$\{M^i\} = [A]\{\delta^i\}$$

ここで、 $\{M^i\} = \{M_1, M_2, \dots, M_n, M'_1, M'_2, \dots, M'_n\}$ 、 M_1, M_2, \dots, M_n はすでに降伏条件を満足した節点の値で、 $+M$ または $-M$ に等しく、 M'_1, M'_2, \dots, M'_n は降伏条件を満足しない節点の主曲げモーメントで、これも $+M$ または $-M$ とおき、これを解くと $\{\delta^i\}$ が得られる。 i を変化させ、 β の最小値を求めると、これが $i+1$ 番目の節点が降伏条件を満足する荷重であり、 $\{\delta^i\}$ を用いてその荷重段階での変位、曲げモーメントが得られる。つぎに、新しく回転角の不連続となった節点の主曲げモーメントの方向より $\{R^i\}$ を修正する。ここで、 X, Y 軸方向の不連続回転角を $\beta \cos \theta, \beta \sin \theta$ のようにとる。以上を不連続点が境界まで達して、構造物が極限状態となるまで繰り返す。

3. 塑性域の広がりを考慮した解析法

一般に、有限要素法に用いられる弾塑性解析には、tangential stiffness methodとinitial strain method, initial stress methodといわれるものがある。いずれも漸増法であるが、前者は各荷重段階ごとに全体の剛性行列を変化させ、後者はいずれも、解析途中で大変形を考慮しないが故に、全体の剛性行列を変化させることはない。ここでは、塑性ひずみの板厚内の変化を仮定し、これを初期ひずみとして取り扱うInitial strain methodによる板の弾塑性解析を示す。図のような三角形要素の斜線の部分が塑性域であるとし、塑性境界、塑性ひずみ部分を

つきのように仮定する。（ S_1, S_2, S_3 は面積座標）

$$T(S_1, S_2, S_3) = t_1 S_1 + t_2 S_2 + t_3 S_3$$

$$\varepsilon^p(S_1, S_2, S_3) = \frac{x-T}{h-T} (\varepsilon_1^p S_1 + \varepsilon_2^p S_2 + \varepsilon_3^p S_3)$$

ここで、 $\varepsilon_1^p, \varepsilon_2^p, \varepsilon_3^p$ は板表面での塑性ひずみの値である。この塑性ひずみを初期ひずみとし、これと等価な節点外力はつきの式より得られる。

$$\{N\} = - \int_{A_i}^{h-T} \int_{n-T}^x [B][D][F] dX dA \{X^p\} = [F] \{X^p\}$$

ここで、 $[B]$ は要素内のひずみと、節点変位との関係

を表すもので、 $[D]$ は応力とひずみの関係を表すものである。また、 $[F]$ は塑性ひずみの仮定により生ずる行列であり、 $\{X^p\} = \{\varepsilon_{11}^p, \varepsilon_{22}^p, \varepsilon_{33}^p, \dots, \varepsilon_{3n}^p\}$ である。Initial strain methodによる計算過程は、つきのようである。ある荷重段階 $\{R^i\}$ において、微少な荷重増分 $\{P_{ai}\}$ を与える。まず、応力増分 $\{E_{ij}\}$ を仮定し、これより塑性ひずみ増分をつきの式 $\{\delta_{ij}^p\} = [C] \{E_{ij}\}$ より計算する。この荷重状態で、降伏条件の判定、および、塑性域の深さを計算し、等価節点外力の式 $\{N_{ij}\} = [E] \{\delta_{ij}^p\}$ より節点外力の増分を

$$\{r_{ij+1}\} = [K]^{-1} \{P_{ai}\} - [K]^{-1} \{N_{ij}\}$$

計算する。この変位 $\{r_{ij+1}\}$ より、全ひずみ増分 $\{\varepsilon_{ij+1}^p\}$ が得られるので、これより塑性ひずみの増分 $\{\delta_{ij+1}^p\}$ を計算し、新しく応力増分 $\{E_{ij+1}\}$ が得られる。前の応力増分より得られた塑性ひずみ増分 $\{\delta_{ij}^p\}$ と、新しい応力増分より得られる塑性ひずみ増分 $\{\delta_{ij+1}^p\}$ が近い値となるまで計算が繰り返される。ここで i は荷重段階を、 j は各荷重段階での反復回数を示す。

計算例は当日発表の予定である。

