

大規模 數值시뮬레이션과 防災 **

林 俊 雄*
HAYASHI TOSHIO

오늘은 권위있는 韓國火災學會의 초청을 받아 여려분앞에서 강연할 기회를 주신것에 대하여 감사함과 동시에 대단한 영광으로 생각합니다. 학회 회장님인 金眞一 교수와 이번 방문에 있어서 여러가지로 도와주신 수원대학의 尹在煥 교수에게 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

오늘은 大規模 數值시뮬레이션과 防災라는 테마로써 이야기하겠습니다. 제가 말씀드릴 내용의 키워드(Key word)는 여러분들에게 나누어드린 강연요지집에 쓰여있습니다.

대규모 수치시뮬레이션이라고 하는 용어는 실제로 物理現象으로써 일어난다고 한다면 이러한 狀況이 될것이다 라고 하는 것을 슈퍼 컴퓨터로써 계산하여 그 방대한 數値데이터를 그래픽(Graphic) 化하여 이해하기 쉽게하는 연구의 한 방법 또는 도구를 말합니다. 이 계산결과의 Output例에 대해서는 나중에 슬라이드로써 보여드리겠습니다.

먼저 防災에 대한 이야기로 부터 시작하겠습니다. 서울을 처음 방문하여 市街地의 近代性이라든지 都市空間이 대단히 아름다운 것에 놀랐습니다. 건물만을 보고 있으면 東京과 동일한 풍경이지만 自然이 잘 보존되어 있어 동경과 농도가 다른 것 같습니다. 그래서 최초의 키워드로써

옛날도 지금도 都市에 필요한 기능은 便利性, 安全性, 保健性, 快適性, 콤뮤니케이션입니다.

便利性이란 교통기관이라든지 도로라든지 주로 사람과 사물이 움직이기 쉬운 정도를 말합니다. 安全性에 대해서는 오늘의 주제이기도 합니다만 나중에 상세히 말씀드리겠습니다. 保健性이란 위생적, 즉 청결함이 도시에는 필요하다고 하는 것입니다. 최근에는 人間의 활동에 수반하는 산업폐기물, 생활폐기물이 커다란 문제가 되고 있습니다. 快適性이란 자연과의 조화, 즉 공기가 깨끗하다던가 푸르름이 많다고 하는 환경의 정도를 말합니다. 콤뮤니케이션성이란 잘아시는 바와 같이 컴퓨터를 이용한 情報의 전달, 가공, 축적이 크게 발달하여 특히 지금부터의 도시에서는 이들이 집중, 집적되어 고도화되어감에 따라 이에 대한 대응을 하여야된다고 하는 의미입니다.

이들 중에서 安全性과 快適性이 금후 특히 중요한 도시의 요소가 되리라고 생각합니다. 왜 안전성이 문제가 되는가 하면 우리들이 도시에 만드는 구조물이 규모면에서 또한 내용면에서 크게 변모됨과 동시에 우리들의 활동상태도 변화하였기 때문입니다.

옛날에는 해가 떠오르면 일을 시작하고 해가 지면 일을 멈추었지만 현재의 근대화된 都市에서는 24시간 풀가동의 상태가 되었습니다. 우리들의 社會와 경제활동이 글로벌(Global)이 되면

* 日本大成建設(株) 技術研究所 情報・數値解析室長、工博

** 本稿는 本學會 제15회 學術講演會(1990. 10. 26 大韓建築學會 講堂)의 講演內容임. 原稿整理, 水原大 尹在煥 教授(工博)

될수록 이러한 경향은 강해지리라고 생각합니다. 또한 건물 자체가 초고층화하거나 거대한 돔(Dome)과 같은 대공간이 되거나 지하깊이까지 활동공간을 확대하거나 또한 컴퓨터의 발달로 건물자체가 대단히 복잡하게 장치화되게 되었습니다. 이와같은 사정은 당연히 지금까지의 防災에 대한 개념으로써는 대응할 수 없는 상황이 많이 발생하게 된다는 것을 의미합니다.

하나의 住宅火災, 커다란 빌딩의 일부분의 室內火災에 대해서는 실험이나 간단한 모델로써 대략의 예측이 가능하지만 초고층화하거나 돔과 같은 거대한 空間, 공기의 보급이 부족하리라 예상되는 깊은 地下空間에서의 火災등은 지금까지의 豊測方法으로서는 불가능하거나 또한 대단히 어려운 상황이 되고 있습니다. 여기에서 슈퍼컴퓨터를 이용한 시뮬레이션기술이 필요하게되며 또한 이 기술은 대단히 큰 가능성을 간직한 대단히 유효한 수단이 되리라고 생각합니다.

여기에서 防災라고 하는 관점에서 조금 말씀드리면 이 學會는 火災學會이며 다연히 火災가 그 주요한 target라고 생각합니다. 그러나 災害에는 잘 아시는 바와 같이 크게 나누어 自然災害와 火災와 같이 人間의 부주의, 과실로써 일어나는 人爲的 灾害가 있습니다. 그래서 중요한 것은 防災에 대하여 고려할 때 이 두가지 灾害에 대하여 충분한 대책을 강구하지 않으면 안된다고 하는 것입니다. 이 두 종류의 灾害에 대하여 그 주요한 것을 표1에 기록해 보았습니다만 물론 이외에도 많은 灾害가 있습니다. 이와같은 灾害에 대하여 어떠한 시뮬레이션이 행해지고 있는지에 대해서도 기술되어 있습니다. 자료에 대한 상세한 설명은 생략합니다만 나중에 보아주시기 바랍니다.

또하나의 중요한 것은 自然, 人爲的 灾害를 불문하고 재해에 대하여 우리들 人間의 安全을 지킨다고 하는 목적은 하나입니다만 재해에 대한 인식은 각자의 立場에서 다르다고 하는 점입니다. 大學이나 研究者들은 현실을 연구의 수단으로써 理想化하거나 모델화하거나 하여 생각합니다. 法律을 만드는 行政의 입장에서는 어떻게 하더라도 책임이라는 문제가 있으며 安全側으로

표 1. 재해와 시뮬레이션

A. 자연 재해

재해의 종류	해석 대상	시뮬레이션例
지진	地震動, 地盤流動化	構造振動解析 地盤流動化解析
화산폭발	溶岩流, 泥流	기류화산시뮬레이션 용암유동시뮬레이션
해일	波力, 浸水	해일전파시뮬레이션 침수역시뮬레이션
홍수	水壓, 浸水	降雨流量시뮬레이션 침수역시뮬레이션
강풍	風壓力	기류시뮬레이션 기상시뮬레이션
이상기상	高・저온, 乾燥多雨	기상시뮬레이션

B. 인위적 재해

재해의 종류	해석 대상	시뮬레이션例
화재	연소, 연기, 유독가스	연소시뮬레이션 연기화산시뮬레이션
폭발	폭발압, 충격	폭발시뮬레이션 飛散시뮬레이션
유독가스	화학적사상	기류화산시뮬레이션
운동체의 침투	교통사고등	Crashing Simulation
인간의 행동	怪我	
환경파괴	산성비, 오존층파괴	환경예측시뮬레이션

생각하기 쉽습니다. 또한 건물을 설계하여 시공하는 사람의 입장에서는 코스트가 최우선이 됩니다. 그러나 중요한 것은 일반이용자는 防災를 위하여 어떠한 법율이 있으며 한정된 금액중에서 安全을 위하여 어떠한 설비나 대책이 취해져 있는가에 대해서는 전혀 알지 못하며 또한 알고 하지도 않습니다. 안전하다고 하는것이 당연하나고 생각하고 있습니다. 이 사실이 非常時에 있어서 이상한 행동의 원인이 되어 커다란 피해와 희생이 발생하는 경우가 있습니다.

특히 이와같이 灾害時の 人間의 心理나 行動에 대한 연구는 대단히 뒤떨어져 있는것이 現狀입니다. 이와같은 人間의 行動은 실험을 할 수도 없고 시뮬레이션하던가 灾害時の ディータ를 꾸준하게 축적하여 많은 ディータ로부터 통계적으로 생각하여 가지 않으면 안된다고 생각합니다.

防災에서 또 하나의 중요한 것은 技術이나 機器가 진보하여 防災에 대한 여러가지 설비가 건물내에 많이 설치되게 되었습니다. 그러나 이와

같은 장치가 작동하는 것은 非常時의 경우뿐이며 日常的으로 가동하는 것이 아닙니다. 기계이기 때문에 고장을 일으키는 경우도 있으며 평상시의 보수점검이 중요하게 됩니다.

이 故障이 레벨(level)에서는 安全故障과 危險故障이라는 두 가지의 고장이 있습니다. 안전고장이란 안전한데도 잘못동작하여 장치가 作動되어 버리는 고장이며 위험고장이란 위험시에 작동하지 않는 정말로 무서운 고장입니다. 어떠한 경우라도 기계설비에 너무 의존하게되면 생각치 않는 큰 사고를 일으키는 경우가 있습니다. 여려가지 말씀드렸습니다만 防災計劃에서는 특히 火災의 경우에는 인간의 비상시의 행동을 고려하여 다음 4가지 점에 유의하는 것이 좋다고 생각합니다.

첫째는 건물을 잘모르는 일반인을 생각하면 空間計劃은 될 수 있는 한 간단명료한 平面(Plan)이 좋다고 생각합니다. 둘째로 스프링쿨러라든지 셋터라든지 너무 기계설비에 의존하지 말라는 것입니다. 셋째는 가연물, 즉 실내로 가져오는 가연물을 어느 정도 제한하는 것이 좋습니다. 마지막으로 비상시의 人間의 心理와 行動에 관한 연구를 더욱 진행해가지 않으면 안된다고 하는 것입니다. 다음은 슬라이드로써 수치시뮬레이션의 Out put例를 설명하겠습니다.

처음에는 防災에 대한 것이 아니고 수치시뮬레이션이란 어떠한 것을 하는지에 대한 일반적인 이야기부터 시작하도록 하겠습니다.

사진1은 젯트전투기를 나타내고 있습니다만 앞의 빨간 부분은 壓力의 큰부분, 뒤의 파란부분은 壓力이 적은 부분을 그림으로 나타내고 있습니다.

사진2는 일본에서 개발한 비행기로써 역시 동일하게 기체내의 壓力分布를 콘타(Contour)로써 나타낸 것입니다.

사진3은 여러분이 잘 아시는 바와 같이 스페이스셔틀의 기체표면에서 공기의 흐름이 어떻게 되는지를 NASA에서 계산한 결과를 나타낸 것입니다. 옛날에는 이와 같은 것은 風洞실험에서 하였습니다만 최근에는 거의 슈퍼컴퓨터를 사용하여 이렇게 그래픽화함으로써 대부분을 계산하

게 되었습니다.

사진4는 역시 자동차의 공기저항을 계산할 때에 나오는 공기의 흐름, 즉 流線의 그림입니다.

사진5는 이것도 동일한 그림으로써 송용차의 공기저항을 표면에 흐르는 공기의 흐름으로 표현한 것입니다.

사진6은 동일한 계산결과를 옆에서 본 것으로 위의 그림은 공기의 흐름을 저렇게 단계적으로 나타낸다는 표현방법입니다. 위는 콘타입니다만 밑의 그림은 와龚車가 커브를 돌때에 공기가 어떤식으로 흐른다는 것을 流線으로 나타낸 것입니다.

사진7은 역시 차의 공기저항을 계산한 콘타圖입니다만 위로부터 점점 밑으로 감에 따라 Low speed에서 High speed가 되어 차의 후방에 亂流의 소용돌이가 고속이 될수록 점점 작아지고 있는것을 나타내고 있습니다.

사진8은 이것은 여러분 잘 아시는 바와 같이 자동차가 Crashing, 충돌했을때 어떠한 상태가 되는지를 계산하여 그림으로 나타낸 것입니다.

사진9는 이것도 동일하게 Crashing, 충돌시의 차의 변형상태가 어떻게 되는지를 다른 방법으로 나타낸 것입니다. 이와같은 차의 충돌시의 계산은 지금까지 하나의 모델을 개발할 때에 200대정도 부수었습니다만 현재에는 이와같은 슈퍼컴퓨터의 계산을 함으로써 하나의 모델에 5대정도로 끝난다고 하는 이야기를 자동차회사 사람으로부터 들었습니다. 자동차는 대단히 비싼 것이기때문에 200대가 5대가 된다면 슈퍼컴퓨터의 잇점이 나오리라고 생각합니다.

사진10은 배입니다만 이와같은 파도가 밀려왔을때 어떻게 되는지를 수조실험과 같이 역시 계산기안에서 계산하여 비교한 것입니다. 지금 배의 선미쪽에 커다란 파도가 밀려 왔습니다만 파도를 뒤집어쓰고 약간 船尾부분이 沈水된 상태를 나타내고 있으며(사진11, 12) 이것은 더욱 진행되어 배가 전복한 상태를 보여주고 있습니다(사진 13).

이러한 그림은 오늘은 슬라이드이기때문에 부분적으로 밖에 나오지 않지만 비디오로써 찍으면 animation처럼 연속적으로 움직이는 것을 볼

수가 있습니다.

사진14는 – 여기에서부터 流體에 대한 이야기가 되겠습니다. – 훌리가고 있는 물속에 막대를 집어넣었을 때 어떠한 흐름상태가 될것인가 하는 것을 시뮬레이션하여 이것을 사실처럼 그래픽화한 것입니다.

사진15는 물속에서는 어떠한 흐름이 생기고 있는지를 보이는 것으로써 이 단면을 자르라는 지시를 컴퓨터에 주면 물속의 流線의 흐름을 볼 수 있습니다. 이 그림에서는 水面上의 상태와 水面下의 상태를 동시에 볼 수 있습니다.

사진16은 水面에서의 막대둘레의 흐름을 이러한 2차원적인 느낌으로 그린 것입니다.

사진17은 막대위에서 보면 막대 뒤에서 물이 어떻게 흘러가는지를 이렇게 표현한 것입니다. 이것은 아까 말씀드린바와 같이 VTR로 보면 뒷부분이 흐르는 것을 볼 수 있습니다.

사진18은 높은 온도를 가진 금속봉을 그 온도보다 훨씬 낮은 공간속에 두었을 때 공간의 공기가 어떻게 흘러가는가, 더구나 높은 온도인 금속봉으로부터 열이 공기중에 어떻게 전달되는지를 나타낸 것입니다.

공기의 흐름을 벡터(Vector)로써, 즉 화살표로써 표시하여 온도는 높은 곳으로부터, 즉 빨간 부분으로부터 파란부분, 낮은 부분으로 흘러가고 있습니다. 실험과는 달리 시뮬레이션의 좋은 점은 실험에서는 볼 수 없는 금속내의 온도분포까지 이와같이 계산하여 표시할 수가 있다고 하는 점입니다.

사진19는 연습삼아해본 시뮬레이션입니다만 프라이팬위에 둥근 뚜껑을 덮었을 경우에 프라이팬을 가열하면 안의 공기가 어떠한 흐름을 보일까 하는 것을 나타낸 것입니다.

사진20을 보시면 아시겠습니까만 건물이 地盤 위에 얹혀져있으며 그 옆에 어느 깊이를 가진 도랑이 있을때 지진이 발생하면 이 지반이 어떠한 壓力상태가 되는지를 나타낸 것입니다. 이것은 연약한 지반위에 건물을 세웠을 때 저와 같은 도랑을 팜으로써 지진 입력이 감소하지 않을까 하는 것을 시뮬레이션한 것입니다.

사진21은 원자력발전소의 원자로 중심부입니

다. 지진이 왔을때 어떠한 변형을 하는가하면 이 그림에서는 우측으로 약간 기울어져 있습니다. 여기나와 있는 색깔은 温度를 나타내고 있습니다. 이것은 대단히 안정된 상태에서의 시뮬레이션이지만 실제로 상상할 수 없을 정도의 큰 지진동이 왔을 때 이러한 현상이 어떻게 될까하는 것은 실험할 수도 없으므로 시뮬레이션으로 볼 수 밖에 없습니다. 이 구조물의 모델과 아까 보여드린 자동차의 충돌모델을 組合시키면 차의 속도는 대개 동일하므로 예를 들면 원자로에 비행기가 추락한다면, 미사일에 폭파되는 경우도 시뮬레이션 할 수 있습니다.

사진22는 어떠한 그림이냐 하면 야구장을 Dome으로 하였을 때 선수가 친 볼이 어느정도 올라가는가 하는 것을 계산하여 지붕의 높이를 결정한 것입니다. 이와같은 계산을 하여 잘 아시는 바와 같이 東京Dome의 지붕높이를 결정하였습니다만 요번에 누군가가 친 볼이 천장에 당은 적이 있었습니다. 물론 이것은 슈퍼컴퓨터로써 하는 계산이 아니고 Personal Computer로써도 계산할 수 있습니다.

사진23은 어느 劇場에서의 音의 시뮬레이션입니다. 무대로 부터 나온 音이 어떤 좌석에서는 어떻게 들리는가 하는 것을 계산한 것입니다. 音은 파동이기 때문에 여러 곳에서 반사합니다. 이 反射는 모두 계산기안에서 계산합니다. 그 반사의 상황을 일반적으로 나타낸것이 이 그림입니다. 이것을 계산해가면서 데이터의 音을 계산기안에서 계산하여 문제가 되는 좌석의 應答 Spectrum을 구합니다. 그 응답 Spectrum에 여러가지 오케스트라의 音을 실리면 그 좌석에서 들을 수 있으며 또한 지금부터 만들려고 하는 극장의 좌석에서도 만들어 낼 수 있습니다. 지금까지는 극장의 건축에서는 1/10정도의 模型을 만들어 실험적으로 音을 구하였지만 지금부터는 이러한 시뮬레이션이 가능하게 되고 있습니다. 전혀 동일한 방법을 사용하면 서울에서도 빙의 오페라좌의 音을 계산기상으로 들을 수 있다고 하는 것입니다.

사진24는 이것은 항상 행하는 계산입니다만 무대로부터 나온 音이 어떻게 전파되는가를 나

타내는 音樂에 관한 것입니다. 이것은 단계적으로 나타낸 것이지만 animation이 되면 상당히 smooth하게 보여줍니다.

사진25는 이것은 高層빌딩이 있고 그 주위에 저층건물이 있는 건물주위에 바람이 어떻게 불까하는 것을 계산한 결과입니다. 이것도 실제는 Video로 되어 있어 이러한 數子가 왼쪽으로부터 오른쪽으로 연속적으로 움직이는 그림이 되어 있습니다. 이러한 시뮬레이션은 필요한 것은 높은 건물을 만들면 벌딩바람이라고 하는 시기지에 강한 바람이 부는 것을 미리 계산할 수 있기 때문입니다. 지금까지는 風洞실험을 하여 이러한 종류의 실험을 하였지만 최근에는 Data Base의 안에서도 계산기안에서 가능하게 되었습니다.

사진26은 그러면 이와 같은 시뮬레이션을 어떻게 하는지에 대하여 설명하겠습니다. 空間을 2차원 표시하고 있지만 공간을 이와 같은 mesh로 자르고 대상으로 하는 건물의 부분만을 미세하게 잘라 계산위치를 먼저 만듭니다.

사진27은 3차원적으로 표시하면 이런 식이 되어서 대개 20만 mesh정도로 미세하게 공간을 분할합니다. 이와 같이 mesh하나하나에 대하여 나르비아의 방정식이라든가, 에너지보존, 질량의 보존칙 같은 것을 계산하여 20만 메쉬를 모두 연속적으로 계산합니다. 1초에 1회 계산하여 7년 걸리는 계산을 슈퍼 컴퓨터는 1초간 걸립니다만 이러한 계산기로 하면 대개 10시간 정도 걸리는 계산이 됩니다.

최근의 대용량의 슈퍼컴퓨터는 인간이 1초간에 1회씩 계산하여 7년간 걸리는 계산을 1초에 할 수 있는 것이 있습니다.

사진28은 이것은 아까의 mesh와는 달리 극좌표를 넣은 mesh입니다. 이와 같은 mesh를 만든 후에는 이 벌딩에 부는 바람을 만듭니다. 처음에는 동일한 크기의 벡터의 바람을 냅니다. 그래서 우측끝까지 가면 다시 돌아오는 계산을 160万회 반복합니다(사진29).

사진30은 이러한 바람속에 예를 들면 4角 건물이 있다고 하면 어떠한 바람의 소용돌이가 발생하느냐고 하면 이것을 Vector로써 나타낸 것입니다.

사진31은 이것을 壓力의 콘타로써 표시한 콘타圖입니다.

사진32는 이것은 다시 색깔로써 표현하면 이와 같은 그림이 됩니다.

사진33은 이와 같이 바람이 불어왔을 때 超高層의 건물에 의하여 어떻게 바람이 변화하는가 하는 것입니다. 이 바람은 亂流가 아니고 定常流의 바람이, 즉 일정한 바람이 우측에서 좌측으로 불어왔을 때를 계산한 것입니다. 이 건물뒷편으로 바람이 휘말려들어가는 것을 볼 수 있습니다.

사진34는 건물에 걸리는 壓力を 표시한 것으로써 빨간부분(전면상부)이 압력이 높고 앞의 건물로써 가려진 부분에서는 압력이 낮다는 것을 알 수 있습니다.

사진35는 이것은 또한 다른 표시 방법으로 이와 같이 건물의 低層部, 中層部, 高層部에서의 바람의 흐름을 나타내면 이와 같이 됩니다.

사진36은 압력 상태가 어떻게 되어있는지를 역시 3層으로 나누어 표현하면 이와 같이 콘타圖가 4단면이 됩니다.

사진37은 이것은 Dome의 해석입니다만 역시 Dome의 경우에도 이와 같이 2차원만의 mesh를 표현하면 이러한 형태가 됩니다.

사진38은 3차원적인 계산의 空間 mesh는 이렇게 됩니다.

사진39는 이것을 안에서 보면 계산은 이렇게 됩니다.

사진40은 이러한 mesh로써 동일하게 나르비아의 法則을 사용하여 계산하면 Dome둘레의 바람 상태는 이와 같은 표현이 됩니다. 슬라이드이므로 움직이지 않지만 VTR로써는 이와 같은 Vector가 점점 움직이고 있는 표현이 됩니다.

사진41은 Dome에 걸리는 氣流의 흐름입니다. 이것은 실제 Dome에 걸리는 壓力を 나타낸 것으로 좌측의 붉은 부분은 압력이 높은 부분을 나타냅니다.

사진42는 동일하게 壓力의 콘타圖입니다.

사진43은 잘 아시리라고 생각합니다만 일기가 막았을 때에는 지붕을 열고 비가 올 때는 지붕을 덮는 Dome에 관한 시뮬레이션 예입니다. 지붕이 전부 닫힌 상태에서는 아까 보여드린 바와 같이

비교적 간단하지만 시간을 함수로하여 지붕을 서서히 열고 있을 때에 場內의 바람이 어떻게 되는가 하는 시뮬레이션은 대단히 복잡한 계산이 됩니다.

사진44는 그러한 상태에서 Dome안의 氣流를 표현한 것입니다.

사진45는 지붕면을 따라서 흐르는 氣流를 Particle로써 추적표현하고 있습니다. 여러가지 표현이 가능하다고 하는 것입니다.

사진46은 지금 東京의 하네다空港에 건설하고 있는 새로운 터미널 건물의 항공회사의 ticket 판매소, 즉 counter의 atrium입니다. 여기에 나타낸것은 난방시에 공기조화의 吹出口로부터 따뜻한 공기가 어떻게 흘러가는지를 계산한 예입니다. 천장까지의 높이가 대개 45m입니다. 옆쪽은 추워도 사람이 있는 부분만 따뜻하면 좋다는 것으로 공조의 공기량이라든지 분출구의 위치를 정하고 있습니다. 온도분포가 어떻게 되어있느냐하면 취출구의 부분은 약간 높지만 천장부근은 넓고 대다히 온도가 낮지만 人間이 움직이는 빨간부분만 따뜻하면 된다고 하는 것입니다(사진 47).

이와같이 큰 공간이 되면 실험하는 것보다도 이와같이 계산기로써 계산하는 쪽이 훨씬 싸고 이해하기 쉬우며 빨리 결과가 나옵니다.

사진48은 역시 호텔의 atrium의 공조취출구로부터 공기의 흐름을 나타내고 있습니다.

사진49은 고층아파트의 배선용의 배출구로부터 나오는 주방의 排氣ガ스가 어떻게 건물로부터 나오는가를 시뮬레이션한 것입니다.

사진50은 3층에 있는 파이프안의 流體가 어떻게 흐르는가를 시뮬레이션 한것으로 이것도 animation이 되어 있습니다.

사진51은 어느 실내에서의 간단한 계산입니다만 이간이 앉아 있을때에 위로부터 공조가 나올 때 어떠한 温度分布가 되는가를 계산한 예입니다.

사진52는 이와같이 계산기로써 계산하는 3차원의 내부라고 하는 것은 어떠한 斷面이라도 꺼낼수가 있다고 하는 것을 표시한 예입니다.

사진53은 동일하게 하나의 텔레비죤화면, 모니

터화면으로 氣流의 흐름, 그리고 壓力, 温度, 이와같은 것을 화면을 분할함으로써 동시에 표시 할 수가 있습니다. 그러므로 이러한 화면을 감시하고 있으면 온도가 상승하였을때 정지시킬수도 있으며 모니터할 수 있습니다.

사진54는 地圖의 콘타圖를 입체적으로 나타낼 수 있다고 하는 것입니다.

사진55는 유럽의 기상도입니다만, 氣象이라고 하는것은 이제부터는 이러한 대규모적인 시뮬레이션이 대단히 유용한 수단이 되리라고 생각합니다.

사진56은 유럽기상센터에서 제공하고 있는 그림입니다. 이것은 북대서양의 바람의 흐름을 계산한 예입니다.

사진57은 우리 연구실에 있는 젊은연구자가 계산한 것으로 태평양 氣流의 흐름과 壓力 즉, 고기압, 저기압의 압력분포를 계산한 것입니다. 이것은 가상적으로 계산해본 것으로 일기예보에는 전혀 도움이 되지 않습니다.

사진58은 조금 더 매쉬를 세밀하게 분할하여 부분적으로 계산한 바람의 흐름입니다.

사진59는 10층건물의 옥상골뚝으로부터 연기가 나오면 어떻게 흘러가는가 하는것을 표현한 것입니다. 이것이 防災에 사용될만한 프로그램입니다.

사진60은 공장으로부터 나오는 배기가스가 어떠한 가스농도로써 확산하는가를 계산한 결과입니다. 擴散式은 燃燒式으로 바꾸면 이것은 火災의 시뮬레이션이 됩니다.

사진61은 주차장건물에 있어서 자동차의 배기 가스농도의 분포를 나타낸 것입니다. 배기ガス농도가 높은 부분은 붉게 되어 있습니다. 그나지기 계기를 사용하지 않는다고 생각하면 주위의 공기를 중앙의 Void에서 가스농도차에 의한 상승에 의하여 自然의으로 배출되도록 고려하고 있습니다. 그러한 부분이 잘 될것인지의 여부를 알기위하여 계산한 것입니다. 이것은 겨울의 無風 시기에서의 상태입니다.

사진62~사진66은 경기장의 地面에서 무엇이 타기 시작했을 때 어떻게 전파되어 가는지를 시뮬레이션한 것입니다. 나중 사진은 시간의 경과

에 따른 불꽃의 전파모습이 나와 있습니다. 여기에서 붉은부분이 불꽃을 나타내는 것이 아니라 온도가 높은 기류를 나타내고 있습니다.

사진67은 방안에서 불이 발생했을때 어떻게 연기가 퍼져 기류가 움직이는 가를 시뮬레이션 한 간단한 예입니다.

사진68은 이와 유사하게 이번에는 복도가 달린 방에서 어느 복도에서 연기가 나왔을때 복도 안을 어떻게 전파하는지를 퍼스널컴퓨터로써 시뮬레이션 한 것입니다.

사진69는 이것은 화산이 폭발하였을 때 溶岩이 어떻게 흘러가 산 기슭에 있는 市街地에 영향이 있는지 없는지를 시뮬레이션 한 것입니다.

이러한 것이 아까 말씀드린 自然災害에 관한 것입니다. 사진70도 동일하게 火山으로부터 나오는 가스性용암과 같은 것이 공기중에 바람이 불지 않을때 어떻게 발달해 가는가 하는것을 표현한 것입니다.

사진71은 地震에 의해 일어난 해일이 시가지 안으로 어떤 狀況으로 浸水하여 가는가, 해일에 의한 물이 어떻게 들어가는가를 시뮬레이션 한 예입니다. 현재에는 지진이 발생한 斷層을 계산하여 해일의 크기를 계산하여 실제로 堤防을 어느정도 넘을까, 市街地에 어느정도 들어갈까 하는 것을 계산할 수 있게 되었습니다.

사진72는 粘性이 있는 土砂가 어떻게 봉괴하는가를 시뮬레이션 한 예입니다. 이것도 自然災害의 시뮬레이션이라고 생각합니다.

사진73은 土砂가 斜面을 흘러 내려올 때 어떻게 될까하는 것인데 이것은 細粒을 많이 포함한 土砂가 흐름상태를 표현하고 있습니다.

사진74는 약간 마른 土砂가 되면 이와같이 튀어오르면서 흘러 내려오는 상태가 된다는 것을 알 수 있습니다.

사진75는 이번에는 토사가 흘러 내려온 곳에 콘크리트벽과 같은 것이 있을때 흘러내려온 土砂가 어떠한 움직임을 하는가를 시뮬레이션 한 것입니다.

사진76은 각각방향의 단면에서 보면 큰 粒子가 실제로 어떻게 움직이고 있는지를 알 수 있습니다. 수분과 암석이 혼합되어 있는 土石類의

경우 커다란 바위가 표면에 뜯것처럼 표면을 훌러내려 온다고 옛날부터 말해져 왔습니다만 이 사진에서도 까만원이 큰 岩石으로 이것을 증명하고 있습니다.

사진77은 火山이 폭발할 때에 용암이 地下로부터 올라와 어떻게 폭발하는가 하는것을 시뮬레이션 한 것입니다. 용암이 火口가까이에서 폭발할대의 모습을 시뮬레이션 한 것입니다(사진78).

사진79는 슈퍼컴퓨터를 사용하는 이야기가 아닙니다만 이러한 곳에 땅이 생기면 어떻게 보일까 하는 것을 시뮬레이션 한 예입니다.

사진80은 물과 교량이 들어가면 이와같이 됩니다. 이것은 계산이 필요한 시뮬레이션은 아니지만, 시뮬레이션이라고 하는 것은 이와같은 그림의 시뮬레이션도 있다고 하는 것을 알아 주셨으면 합니다. 또한 보여드린 슬라이드안에는 저희들이 실제로 행한 계산도 있으며, 또한 大學의 film을 빌려온 것도 있습니다만 이와같이 災害라든지, 音을 재현한다든가, 여러가지 구조물의 설계에 이와같은 계산기를 사용한 시뮬레이션은 대단히 유효한 수단이라고 생각하며 여러분들도 그렇게 생각하시리라 믿습니다.

이것으로 저의 講演을 마치며, 경청해 주셔서 감사합니다.

〈質問〉

〈問1〉 실제실험과 이와같은 시뮬레이션과의 오차는 어느정도인가 또한 이와같은 시뮬레이션결과를 실제 건물의 防火설계에 적용한 예가 있는지?

答: 첫번째 문제로서 시뮬레이션과 實驗과의 오차 문제입니다만 시뮬레이션은 어디까지나 數值化를 사용한 모델화에 대한 이야기이므로 실험의 精度에는 미칠수 없습니다. 이것은 그 계산의 떨도라든가 모델화를 금후 발전시켜감에 따라 自然과 전혀 동일한 세계를 표현할 수 있으리라 많은 건물을 만들려고 합니다. 實驗은 한가지 경우에限定되지만 계산기로서는 여러가지 경우가 가능하다고 하는것이 큰 잇점입니다.

두번째 질문에 대해서는 火災의 시뮬레이션 문제가 되겠습니까? 거대한 아트리움이 랠지 거대한 동경돔과 같이 큰 돔(Dome)과 같은 것이 日本에서 지금까지의 건축기준법에 의한 건축인정을 받지 못하는 경우에는 거의 대부분 이와 같은 시뮬레이션을 시킵니다. 그러나 단지 현재 시행하고 있는 것은 配煙의 시뮬레이션 위주로서 燃燒式을 정확하게 계산한 예는 아직 없습니다. 防災쪽의 시뮬레이션에서 오늘 슬라이드에는 없었지만 火災時 인간의 피난에 대한 시뮬레이션은 앞으로 중요하게 되리라 생각합니다. 아직 여기에는 人間의心理가 관계되므로 이것을 정확히 표현하는 모델화가 어려운 상태입니다.

〈問2〉 시뮬레이션으로 火災原因의 究明할 가능성이 있는가?

答: 지금까지原因까지 구명한 것은 전혀 없습니다. 단지 재료가 타기 시작하면 어떻게 될까, 어떠한 연기가 나와서 어떻게 천장이나 복도로부터 전파되는가 하는 것은 가능하지만 전기로 불이 나면 어떻게 된다든지 가스로 불이 붙으면 어떻게 되며, 石油가 카펫트위에 뿌려졌을 때 어떻게 될까 하는 것은 제가 생각하는 바로서는 해본 적이 없으며 현단계에서는 불가능하다고 생각합니다.

아마도 각종 재료의 燃燒性狀을 모두 실험으로 구하여 그것을 모델화해가지 않으면 안된다고 생각합니다. 탈 가능성성이 있는 모든 재료의 실험을 하지 않으면 불가능하다고 생각합니다. 아마 그러한 것은 실험으로 하는 것이 경비면에서도 대단히 싸지 않겠습니까? 슈퍼컴퓨터의 계산은 1시간에 100만엔입니다. 강연 중 주차장에 대한 그림이 나왔었습니다만 여기에는 대개 1천만엔정도 들었습니다. 물론 그 그림만 얻은 것이 아니라 그와 같은 경우의 여러 경우에 있어서 24매 정도의 그림을 얻을 수 있었습니다.

〈문3〉 이와 같은 시뮬레이션에 대한 연구와 設計 와의 연관관계는?

答: 첫 번째 점은 이러한 道具라고 하는 것은 설계할 때의 도구로써 사용하였을 때 가장 도움이

됩니다. 그리고 우리들 연구소에서 생각하고 있는 것은 설계의 경우에는 Output만을 얻으면 되기 때문에 연구레벨에서와 같이 메쉬를 20만개 차르거나 160만회 반복하거나 하는 것은 설계에서는 도저히 불가능합니다. 그래서 연구소에서는 어떠한 레벨까지 시간을 단축하거나 반복횟수를 적게 하면 실제의 설계에 사용하는데 도움이 되는 결과가 나올까 하는 것을 연구합니다.

그렇기 때문에 연구레벨에서는 5시간 정도 걸리는 계산을 설계레벨에서는 30분정도로 실제의 그림이 나오는 형태로써 설계자가 계산하는 시스템을 취하고 있습니다.

설계의 레벨에서는 方程式에 무엇을 사용하고 있으며 어떠한 모델화를 하고 있는지 하는 것은 전혀 관계가 없으며 計算式의 프로그램안에 넣으면 자동적으로 그림이 나오는 시스템이 되고 있습니다.

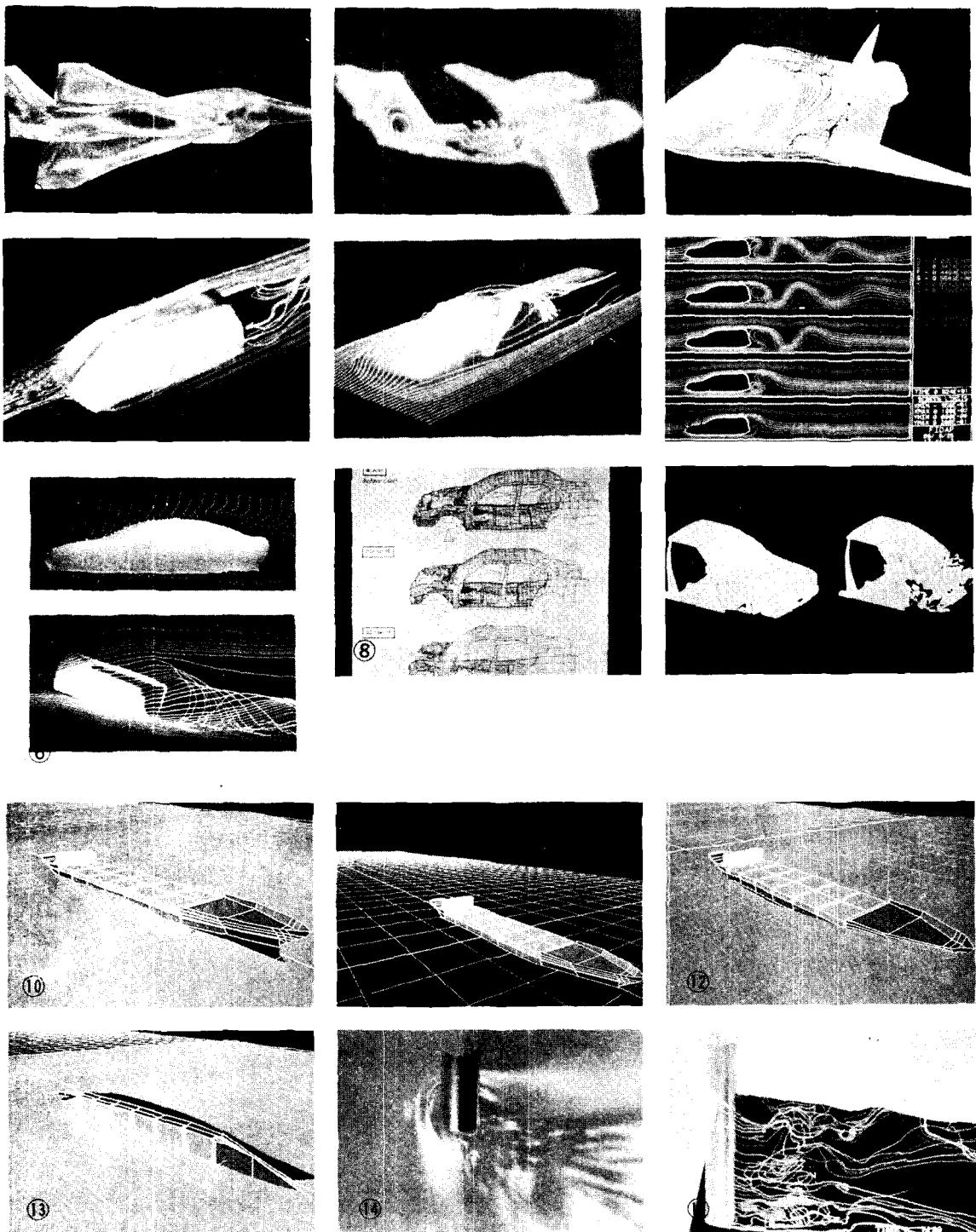
東京에 있는 新宿센타빌딩이 건설된지 10년정도 지났습니다만 저희들이 슈퍼컴퓨터를 사용하여 시뮬레이션을 하기 시작한 것은今年以来 4년째입니다. 그렇기 때문에 센타빌딩을 지을 때에는 이러한 시뮬레이션은 하지 않았습니다. 설계와의 연관관계에 대해서는 지금은 연결되지 않았지만은 CAD로부터의 Data를 매쉬로 분할함으로서 바로 건물을 계산하는 결과를 다시 CAD에 불려들여 CAD로 그리는 설계도안에 氣流의 그림을 사용하는 것이 가능한 시스템을 만들어가고 있습니다.

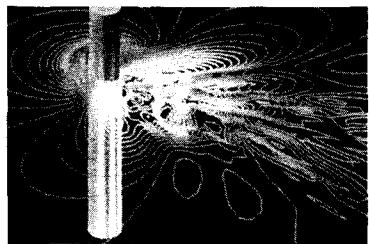
〈問4〉 시뮬레이션에 사용하는 여러 가정, 式 및 data의 근거는 무엇인가?

答: 이러한 시뮬레이션에서 사용하는 가정은 거의 대부분 大學의 연구실에서 연구하고 있는 논문을 보고 사용하고 있습니다. 그리고 세계적으로 사용되고 있는 소프트웨어, 프로그램이든지 凡用의 Package가 판매되고 있습니다. 그 외에 우리들 독자의 연구실에서 소프트웨어를 개발하는 경우인데 流體를 개발하면 반드시 풍동실험으로 그 精度를 확인하고 있습니다. 그러나 不定常의 문제가 많기 때문에 여간해서 그 정확함을 평가한다는 것은 어려운 일이라고 생각합니다. 최근에는 이러한 시뮬레이션만을 연구하는 學會도 있습니다.

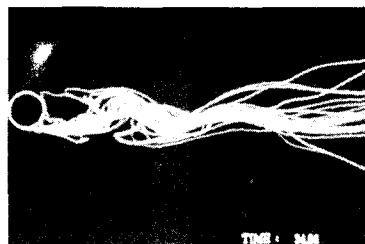
다. 그리고 우리를 연구실에서는 그러한 것을 전문으로 하고 있는 연구실로부터 학생을 채용하여

연구개발을 하고 있습니다. 이러한 것은 大學과 共同으로 하는 경우도 있습니다.

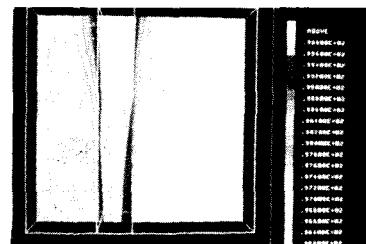




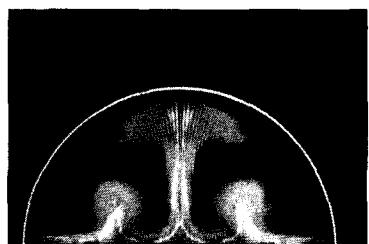
(16)



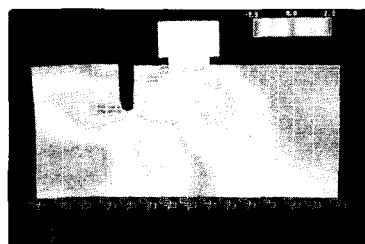
(17)



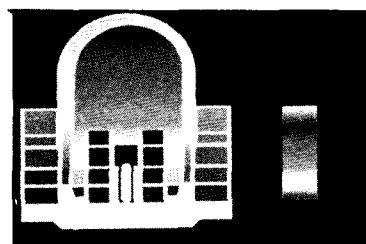
(18)



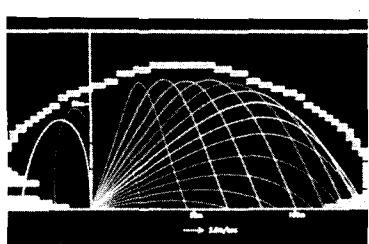
(19)



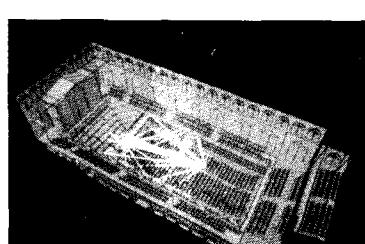
(20)



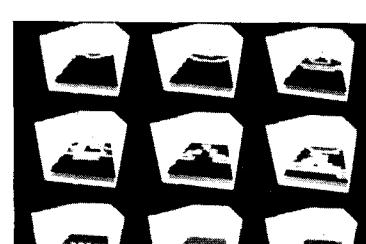
(21)



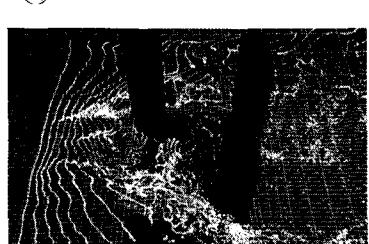
(22)



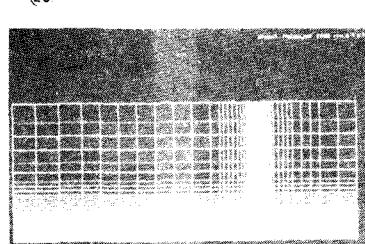
(23)



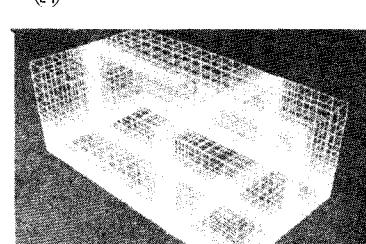
(24)



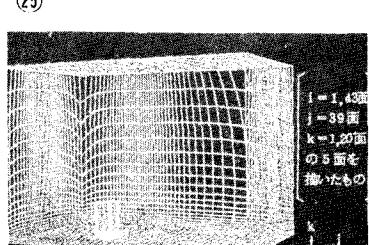
(25)



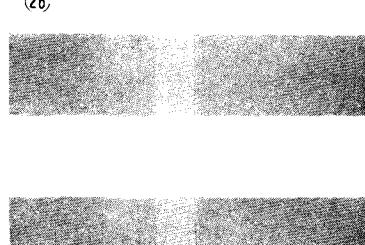
(26)



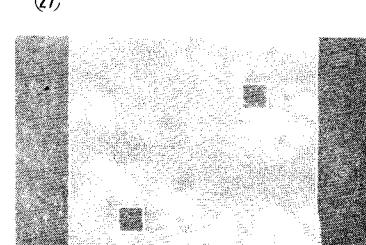
(27)



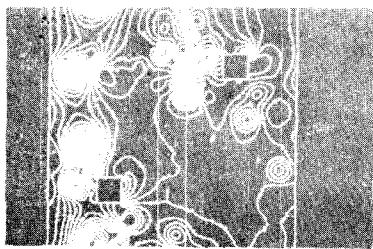
(28)



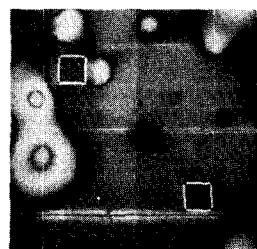
(29)



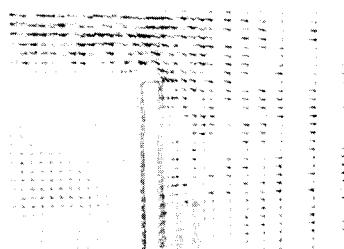
(30)



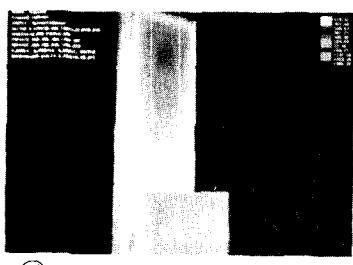
③①



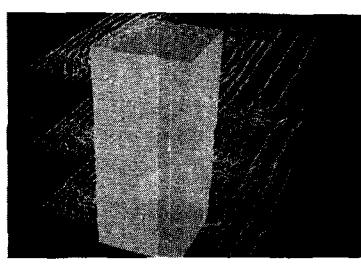
③②



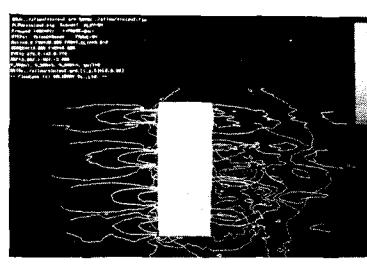
③③



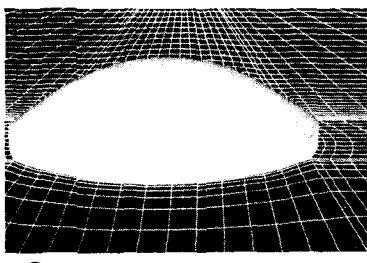
③④



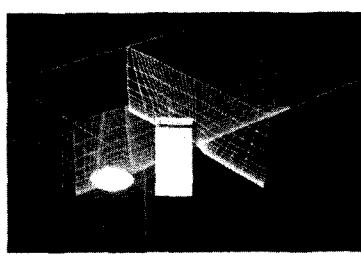
③⑤



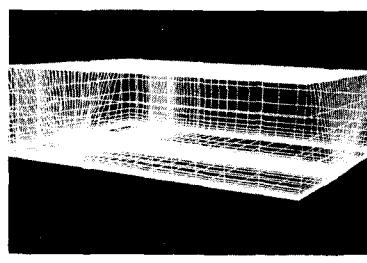
③⑥



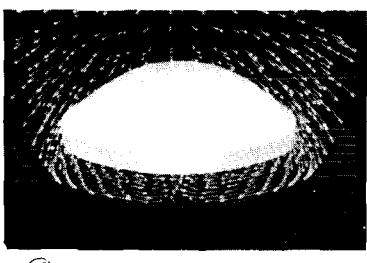
③⑦



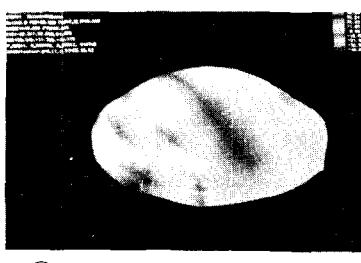
③⑧



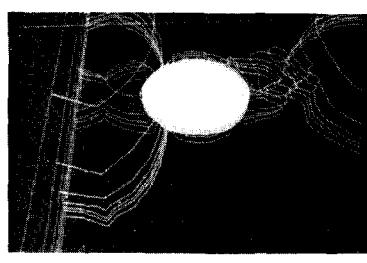
③⑨



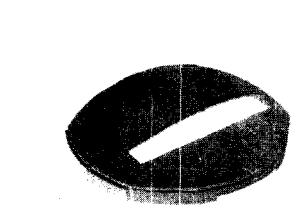
④⑩



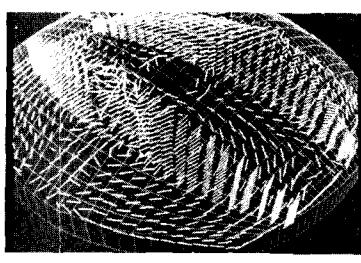
④⑪



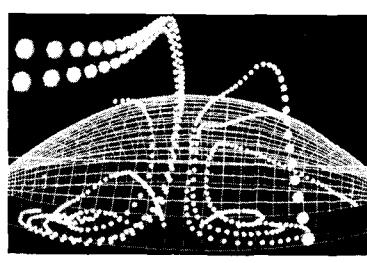
④⑫



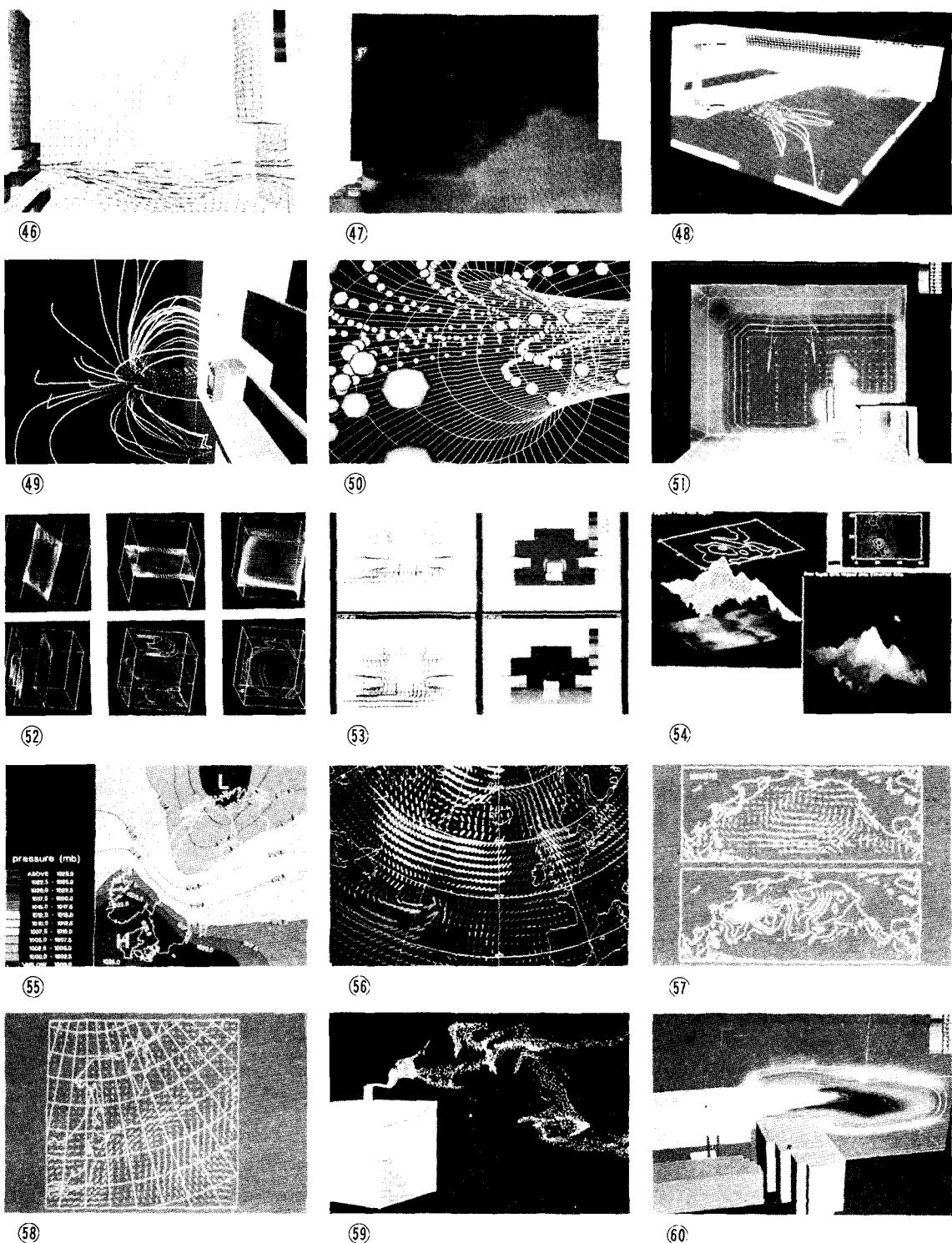
④⑬

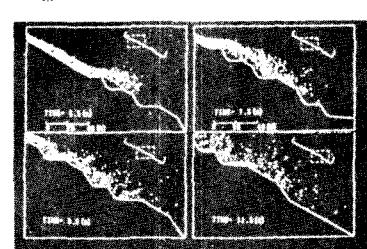
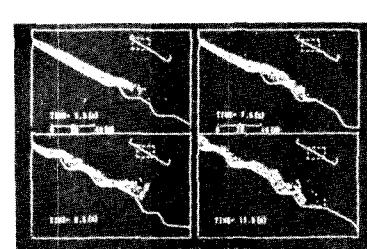
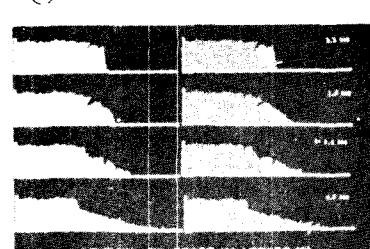
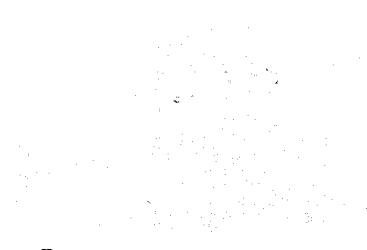
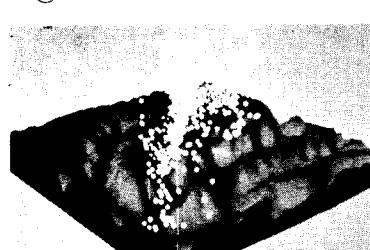
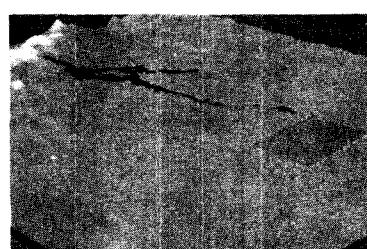
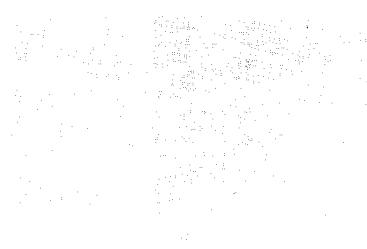
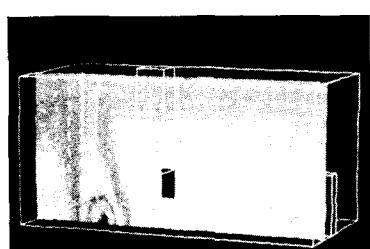
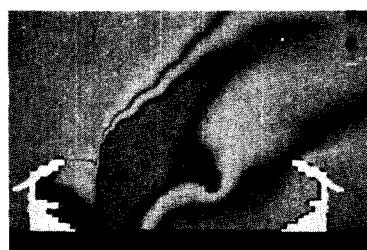
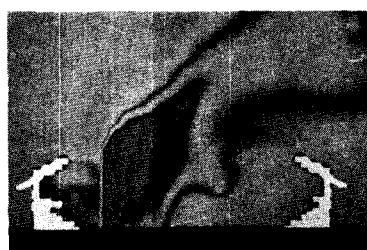
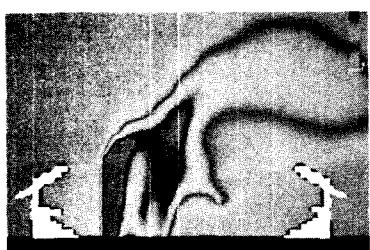
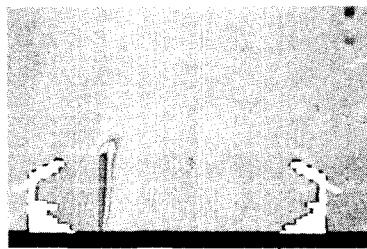
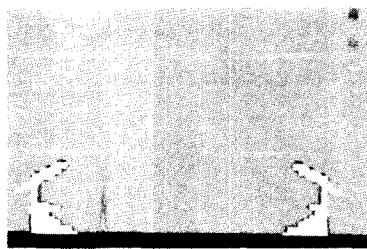
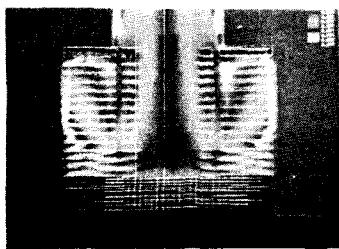


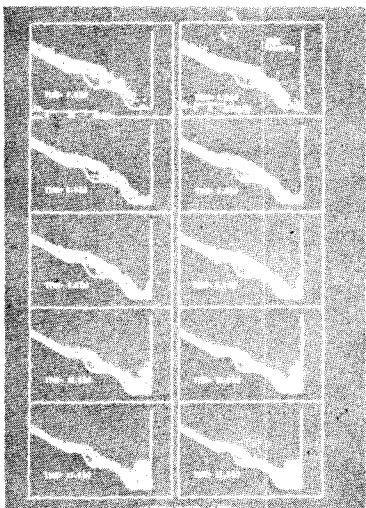
④⑭



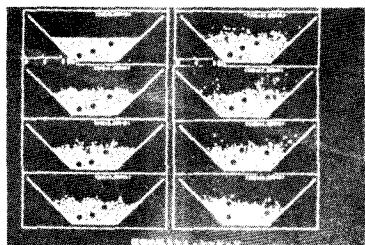
④⑮



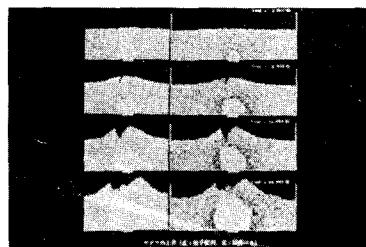




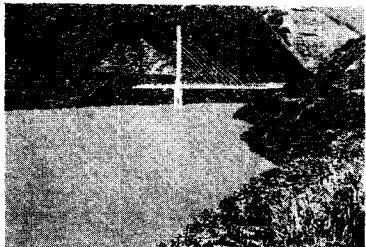
75



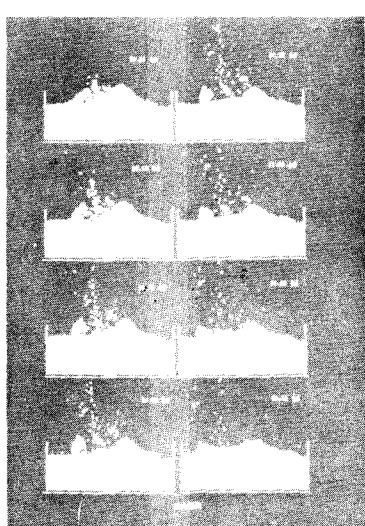
76



77



78



79



80