

지진과 국내 지진위험분석의 문제점

Problems for the Seismic Risk Evaluation in Korea



김 소 구*

1. 역사지진과 계기지진

우리가 보통 한반도에는 지진피해가 없을 것이라고 생각하지만 이것은 지진을 잘 모르고 말하는 것이다. 우리나라 고대문헌을 찾아보면, 삼국시대부터 최근까지 한반도에 살았던 옛 우리 조상들은 지진때문에 때때로 가옥과 인명피해를 끊임없이 입었다는 기록이 고대문헌에서 발견된다. 이렇게 역사문헌에 기록된 지진을 역사지진(historical earthquake)이라고 부른다. 그리고 최근에 와서도 1978년 9월 16일 속리산부근에서 일어난 규모 5.2(규모=magnitude, 지진 크기 단위)에 이어서 같은 해 10월 7일 홍성에서는 규모 5.0의 지진이 발생하였다. 특히 이 지진은 홍성지역의 충적토에서 일어났기 때문에 홍성읍의 많은 공공건물과 가옥에 막대한 피해를 초래했다. 이 지진은 1936년 7월 4일 지리산의 쌍계사 지진(규모=5.3)이후 42년 만에 발생한 지진으로 한반도에서 가장 큰 피해를 준 최근지진이다. 그리고 최근 지진으로

1978년 11월 23일 재령지진(M=4.6), 1980년 1월 8일 대관지진(M=5.3), 1982년 2월 14일 사리원 지진(M=4.5), 1982년 8월 23일 덕적도지진(M=4.0), 1985년 6월 25일 영흥지진(M=4.0), 1992년 11월 12일 평양서부지진(M=3.8), 1994년 2월 12일 계룡산지진(M=3.5) 그리고 황해지진 1994년 7월 26일(M=4.9)등을 말할 수 있다. 이렇게 지진계에 기록된 지진을 계기지진(instrumental earthquake)이라고 부른다.

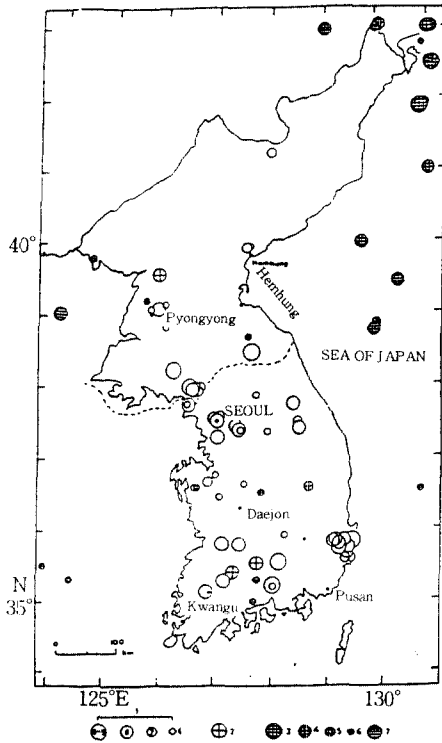
그림 1과 그림2에서 우리는 이러한 역사지진과 계기지진의 분포를 명확하게 비교하여 생각할 수 있다. 한반도의 지진활동은 13세기부터 17세기에 걸쳐 활발하게 일어났으며 18세기에 들어와서는 과거에 비해서 그 활동이 줄어들게 되었다. 따라서 그림 1과 2에서 최근 한반도 서해안 일대, 동남 지역에서는 규모 3.0-6.0범위의 지진이 일어나고 있다. 그러나 그림 2에서 보는 바와 같이 경기, 강화, 서울과 같은 수도권지역에서는 지진활동이 없는 것을 볼 수 있다. 그러나 삼국시대, 고려, 조선 왕조시대에는 이 수도권지역이 큰 지진이 때때로 일어났다. 그러나 최근 200년 동안 이 지역에는 지

* 한양대학교 지진연구소 소장

표 1 최근 국내 지진과 조선 시대 서울 주요 지진도

| 시 기 | 지 역 | 위도 | 경도 | 규모 | 진도 | 시 기 | 지 역 | 위도 | 경도 | 규모 | 진도 |
|------------|------------------|------|-------|-----|-----|-------------|------|------|-------|-----|-----|
| 1978.10. 7 | 홍성 | 36.6 | 126.7 | 5.0 | 5-6 | 1454.12.26 | 서울부근 | 37.6 | 127.0 | 5.3 | 6-7 |
| 1978. 9.16 | 속리산 | 46.6 | 127.9 | 5.2 | 4 | 1518. 7.21 | " | 37.6 | 126.9 | 7.5 | |
| 1980. 1. 8 | 대관 | 40.2 | 125.0 | 5.3 | | 1518. 7.31 | " | 37.5 | 127.0 | 6.5 | 6-7 |
| 1980. 4.15 | 포항동쪽해역 | 35.9 | 130.1 | 4.8 | | 1551. 1.19 | 서울남쪽 | 37.5 | 127.0 | 5.3 | |
| 1982. 2.14 | 사리원 | 38.3 | 125.7 | 4.5 | | 1557.12.30 | 서울부근 | 37.5 | 127.1 | 5.7 | |
| 1982. 3. 1 | 울진동쪽 4.5km해역 | 37.2 | 129.8 | 4.7 | | 1590. 1.28 | " | 37.5 | 127.1 | 5.3 | 6-7 |
| 1989. 6.23 | 괴산 | 36.7 | 127.8 | 3.5 | | 1594. 7.13 | 서울 | 37.7 | 126.9 | 5.4 | 6-7 |
| 1993. 3.11 | 경주 | 35.6 | 126.9 | 3.9 | | 1613. *7.16 | " | 37.6 | 127.0 | 6.5 | |
| 1994. 2.12 | 계룡산 | 36.4 | 127.3 | 3.5 | | 1616.10.28 | " | 37.6 | 127.0 | 6.6 | |
| 1994. 4.23 | 울산남동쪽 160km해역 | | | 5.1 | 3 | 1618. 1.29 | " | 37.6 | 127.0 | 5.5 | |
| | | | | | | 1624. 5. 1 | 서울부근 | 37.5 | 126.9 | 5.7 | |
| | | | | | | 1681. 6.20 | " | 37.6 | 126.9 | 5.7 | |
| | | | | | | 1713. 4.27 | " | 37.6 | 127.0 | 5.3 | 6-7 |

(주) 서울지역의 역사지진자료는 북한의 지진연구소에서 확보한 자료에 의거한 것임.



Epicenter of annual major earthquakes in Korea, compiled from historical materials (27 A.D. - 1904) and the records of the seismograph stations (1905-1979). Historical earthquakes are scaled by intensities(MM).

- 1-historical earthquake whose effect was limited in a small area;
- 2-historical earthquake whose effect was extended over a considerable territory;
- 3- $M \geq 7.0$ for a depth of 300-700 km;
- 4- $7.0 \geq M \geq 6.0$;
- 5- $6.0 \geq M \geq 5.5$;
- 6- $5.5 \geq M \geq 5.0$;
- 7-shallow depth ($h \geq 60$ km)

그림 1 역사지진(Historical Earthquakes)

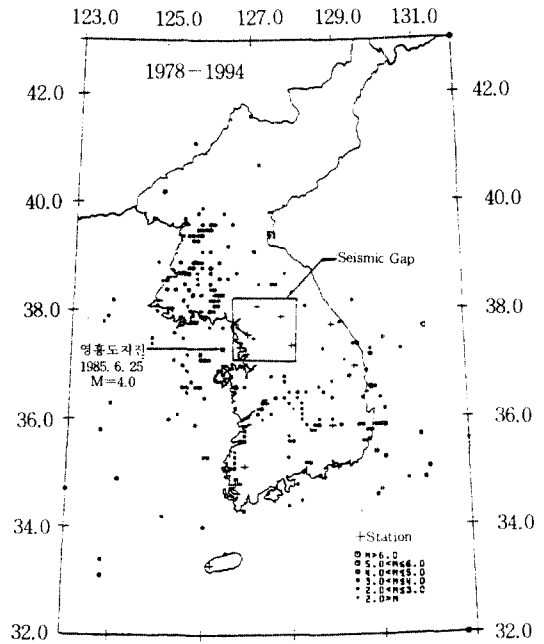


그림 2 계기지진(Instrumental Earthquakes)

진이 전혀 일어나지 않았기 때문에 지진에너지가 오랫동안 축적되어 있으므로 언젠가 지진이 발생할 확률이 높고, 만약 발생하게 된다면 현재 다른 곳에서 일어나고 있는 규모보다 훨씬 더 큰 규모로 지진에너지를 방출하게 될 것이다. 이렇게 과거에 지진이 발생하던 곳이 얼마 동안 지진운동을

보이지 않고 조용한 영상을 보이는 지역을 “지진 정지기 (seismic gap)”라고 부른다. 서울, 경기, 강화등의 수도권지역은 현재 지진정지기에 들어간 것으로 간주된다(표 1. 참조).

2. 한국 지진빈도수와 지진위험

어느지역에서 지진의 빈도수와 지진위험성은 매우 밀접한 관계가 있다. 즉 $\log N = A - bM$, 여기서 N은 어느 일정 기간동안 어느 일정한 범위속에 있는 지진의 총수이고 M은 지진규모, A, b는 각각 절편과 기울기이다. 여기서 특히 기울기 b는 지역별 지체구조력지진과 깊이의 특성을 지니고 있기 때문에 지진위험을 예측하는데 매우 중요하다. 즉 b가 작으면 작을수록 큰 지진위험이 있음을 의미하며 반대로 b가 크면 작은 지진이 많이 발생함을 의미한다. 보통 전세계 지진의 변수 b는

기의 1에 가깝다. 한국 남한의 b값은 $\log N = 4.44 - 0.77M$ 으로 1978년에서 1992년의 15년간 234개의 지진을 이용하여 산출하였다. 여기서 지진규모 2.8이하와 남한지진관측망 밖에 있는 많은 북한의 미소지진이 누락된 것을 부인 할 수 없다. 한반도 전체를 고려한 역사지진을 이용했을때 b값은 0.84로 결정되었다. 따라서 한반도 전체의 모든 지진을 이용하게 되면 b값은 좀 증가할 것으로 간주된다. 한반도의 지진(함경북도북부 제외)은 구조판 내부에서 발생한 판내부지진(intra-plate earthquake)으로 주로 단층지대를 중심으로 지체구조력(tectonic force)에 의한 주향단층(strike-slip)운동이다. 그림 3에서 보는 홍성지진은 급세기 한반도에서 일어난 가장 큰 피해의 지진으로 기념비의 밑부분과 윗부분이 서로 반대방향으로 회전한 것을 볼 수 있다. 밑부분은 우측방향이고 윗부분은 좌측방향으로 회전한 것을 볼 수 있다.

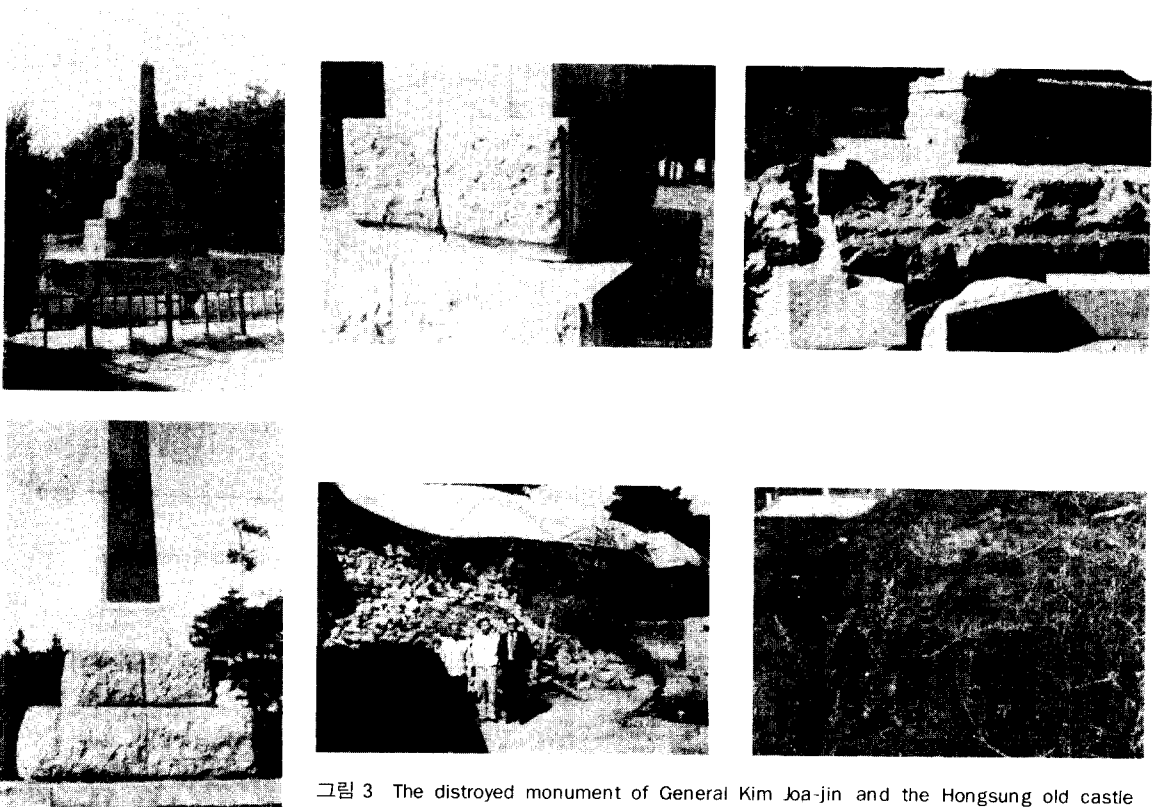


그림 3 The destroyed monument of General Kim Joa-jin and the Hongsung old castle by the Hongsung Earthquake of October 7, 1978. The right corner of the bottom is the ground long fissure (10m) near the monument.

이와 같이 한반도의 천발지진(진원 30km 이하)의 메카니즘이 주로 우측방향 단층이 많은 것은 인도판(Indian Plate)의 북진과 필리핀판의 북서방향 및 태평양판의 서진과 같은 간접적 영향을 배제할 수 없다.

3. 지진 위험 분석

오늘날 지진의 위험을 분석하는데, 귀납적 방법(a posteriori)에 의거한 확률론적 방법(probability)와 연역적 방법(a priori)에 기초를 둔 결정론적 방법(deterministic approach)이 있다. 지진학에서는 지진의 원인, 메카니즘, 지진파의 형성과 전파과정, 지진에너지 등 지진의 물리와 수학에 기초를 둔 결정론적 방법을 가지고 접근하여야 한다. 그러나 이미 지나간 역사지진과 그리고 앞으로 올 미래 지진을 고려하여 현실적 위험도를 도출하여야 하는 공학에서는 확률론적 방법을 무시할 수 없다. 상기 두가지 방법, 결정론적 방법과 확률론적 방법을 한국의 지진위험에 응용하기 위해 이는 무엇보다도 중요한 전제 조건이 필요하다고 본다.

1) 한반도는 약 2000년(기록역사에 의거한)의 역사문헌을 가지고 있기 때문에 남·북한이 통일된 역사지진 신뢰도가 있어야 한다. 현재 남한과 북한이 결정된 역사지진은 크기, 위치, 시간의 차이가 크다(표 1 참조).

2) 현재 지진 위험 분석을 위한 확률방법은 최대치 이론(Extreme Value Theory), 최소자승법(Least-Square Method), 최대 가능성 방법(Maximum Likelihood Method), 세미-마르코프(semi-Markov) 및 통계 추계학적(Stochastic)방법 등 새로운 기술(state of-the-art)이 동원되나 한반도에 적합한 한국형 최적 방법을 창출하여야 한다.

3) 한반도는 정치적으로 오랫동안 남북관계를 유지하였고, 남·북한의 지구물리에 대한 연구부족으로 한반도 전역에 걸친 지각 및 상부 맨틀에 관한 지층구조연구가 전혀 안되어 있다. 따라서 한반도 전역의 지층구조는 지진학적으로 전혀 조사되어 있지 않다. 따라서 자연지진과 지하 인공 폭발에 의해서 우선 한반도의 지각 및 상부 Man-

tle의 구조가 밝혀져야 한다.

4) 한반도는 오랫동안 남·북 대치관계와 지진 연구의 무관심때문에 한반도 지진 메카니즘의 분석에 관한 자료가 부족하다. 앞으로 보다 더 많은 관측망과 지진 분석으로 한반도내에서 일어나는 지진 메카니즘의 정확한 분석이 밝혀지고 동시에 활단층조사가 철저하게 선행되어야 한다.

5) 이상 위에서 기술한 4가지는 한반도의 지진 위험을 분석하기 위해서는 먼저 선행되어야 하고, 그리고 현재 할 수 있는 연구과제라고 말할 수 있다.

수도 서울은 지난 30년동안 인구의 폭발적인 집중과 산업시설의 급증등 특히 초고층건물과 아파트단지, 지하철공사의 부실, 대형교량, 지하터널, 지하시설물(전기, 가스, 전화 및 저장시설 등) 등의 갑작스런 팽창은 주변지반을 매우 약화시켰다. 더우기 이러한 공사들은 지구물리학적 조사와 분석 방법(전반적 지층구조, 단층 및 내진문제)을 전혀 고려하고 있지 않기 때문에 만약 서울을 중심으로 수도권 지역에 지진이 발생한다면 매우 큰 피해를 입을 위험성을 안고 있다.

따라서 정부에게 지진방재 대책을 위한 장기 계획으로는 아래와 같은 3가지 사항을 제안하고 싶다.

첫째로 지진분야의 고급인력을 하루 빨리 양성하여야 한다. 현재 우리나라에서 지진인력을 양성할 수 있는 기관은 한 두개밖에 안된다. 정부는 이 분야의 지원을 활성화하여 21세기 과학의 기술화, 세계화에 적극 참가하도록 해야 한다.

둘째로 한국은 지진분야에서 어느나라보다 후진국이다. 한국은 첨단장비를 설치하여 지진관측을 신속·정확하게 해야한다. 첨단장비는 지진기록을 디지털로 측정, 기록하여 이들 자료를 온라인으로 전송하는 시스템을 말한다. 그렇게 되면 지진발생시 즉시 지진정체를 밝혀 재산과 인명피해를 최소화 할 수 있다. 또한 지진자료의 정확한 분석과 보관이 편리하기 때문에 영구보존이 가능하다.

셋째로 모든 초고층건물(아파트포함), 고속철, 대형교량과 댐등 주요 구조물 건설시 내진설계를 철저하게 적용하도록 법적 규정을 만들어 강

화해야 한다. 현재 원자력 발전소만 국제 원자력 기구(IAEA)규정의 건설면허 허가를 받기 위해서 지키는 내진규정을 모든 주요산업 및 공공건물과 고층주택시설에 적용해야 한다.

4. 일본 고베 지진

1995년 1월 17일 일본 Awaji-shima에서 일어난 고베지진은 실제과규모 6.0(Mb)와 표면과규모 6.8(Ms)로 미국 USGS에서 발표되었다. 현재진도(지진의 피해정도)는 10~11(MMS = Modified Mercalli Scale)로 약 5000이상의 인명 피해와 약 8조원의 재산피해를 가져다 준 급세기 일본 최악의 지진이다. 일본에서는 1923년 9월 1일 도쿄-요코하마에서 발생한 관동대지진 이후 69년만에 의거하여 동경부근에서 다시 큰 지진이 일어나지 않는가에 염려하여 연구하여 왔다. 그러나 이번의 의외로 간사이지방을 친 고베지진은 지진강대국 일본을 너무나 당황케 했다. 일본 열도는 동쪽으로 태평양판과 필리핀판이 부딪치는 지역이다. 대

체로 혼슈의 중심부 이남으로는 필리핀판(Philippine plate)이 그리고 이북으로 태평양판(Pacific plate)이 침투하고 있다. 따라서 일본 지역에는 판과 판의 충돌에 의한 지체구조력의 영향을 많이 받기 때문에 활단층과 판경계지진(inter-plate earthquakes)이 자주 일어난다. 그러나 이번에 고베지진은 이러한 지체구조력이 활발한 지역에서 좀 떨어져 있고 과거 대지진이 없던 점에서 보아 진원이 이동(migration)하였다고 볼 수 있다. 그리고 이 지진의 메카니즘은 주향복서(334°), 경사 79°의 우측주향운동의 단층이라는 것이 판명되었다.

이 지진의 피해가 큰 이유는 진원 깊이가 16km로 얕고 우측주향단층 운동을 일으키므로 S파와 표면파 생성이 특히 강하기 때문에 지진에너지가 매우 큰 이유이다. 그림 4, 5, 6에서 고베지진의 진원지인 Awaji-shima에서 표면단층과 고베지역의 구조물, 고속도로 및 철도의 피해상황을 보여주고 있다. 지진의 메카니즘은 오늘날 지진학자들에게 의해서 double-couple로 정설되어 있지만 (i)상하

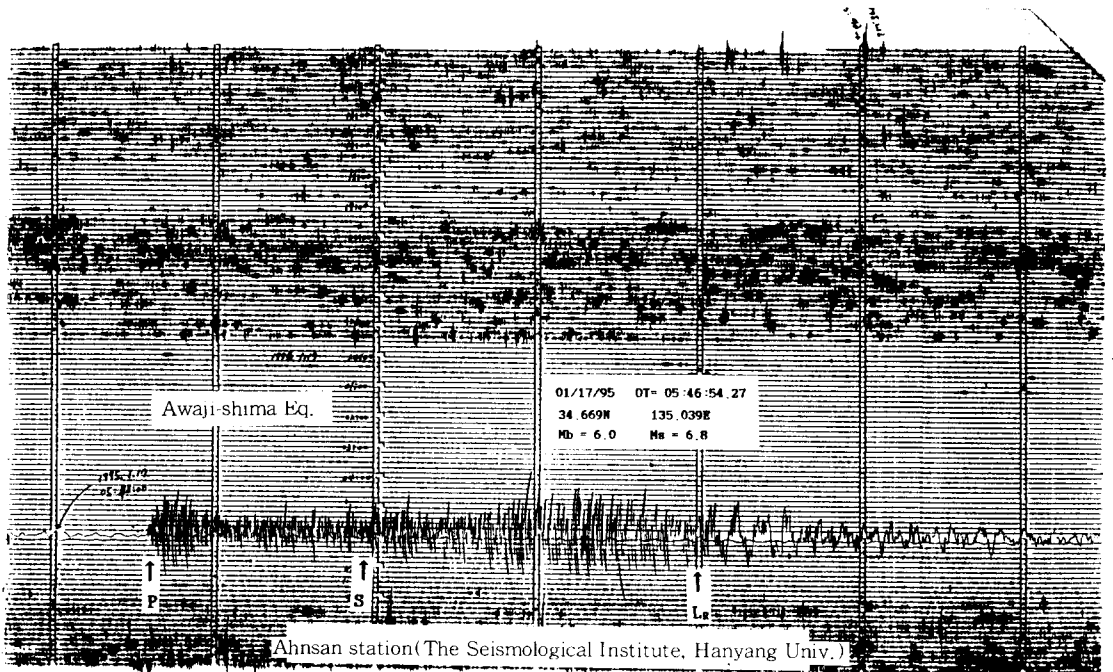
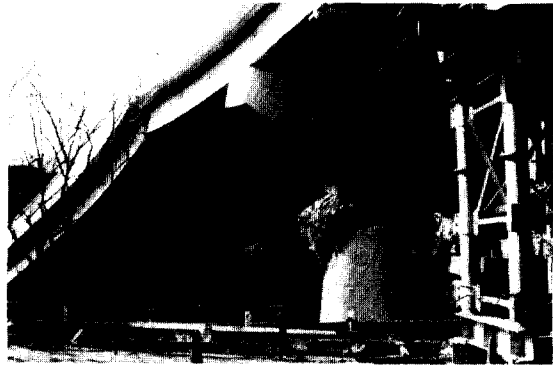


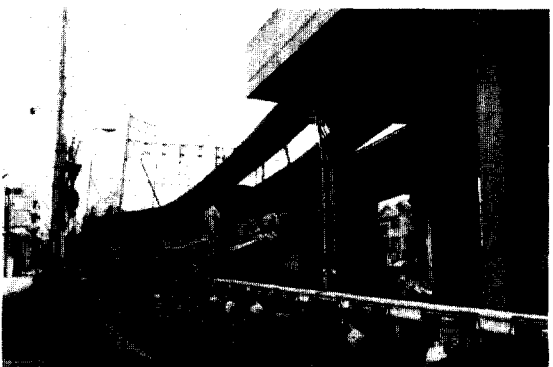
그림 4 고베지진의 지진기록지(Seismogram)



Destroyed Kobe Highway by Jan. 17, 1995 Kobe Earthquake
(a)



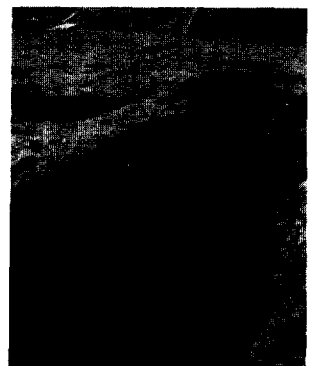
Destroyed Kobe Railway by Jan. 17, 1995 Kobe Earthquake
(b)



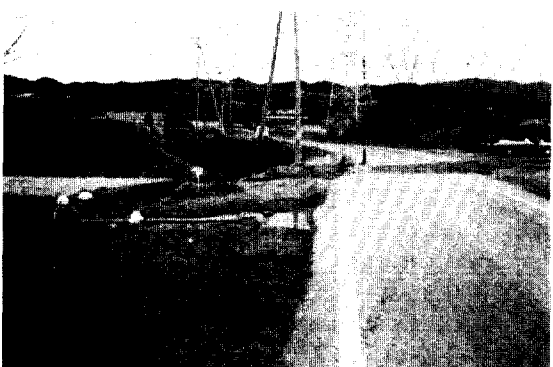
Destroyed Kobe Railway by Jan. 17, 1995 Kobe Earthquake
(c)



Surface Awajishima Fault by Jan. 17, 1995 Kobe Earthquake
(a)



Surface Awajishima Fault by Jan. 17, 1995 Kobe Earthquake
(b)



Surface Awajishima Fault across the Road by Jan 17, 1995 Kobe Earthquake
Epicenter : 34.669N 135.039E
O.T. : 01/17/95 05:46:54.27 (c)
Mb=6.0 Ms=6.8 h=16km

그림 5 고베지진에 의한 고속도로와 철도의 파괴

그림 6 고베지진의 진앙지 아와지시마의 파괴

수직운동(dip-slip)과 (ii) 좌우 수평운동(strike-slip), 그리고 이 두가지가 합성해서 일어나는 (iii) 합성운동(dip-strike-slip) 중 짧은 단층운동 동안(40초 미만) 어느 운동이 강하게 일어 날지, 그리고 또한 계속해서 발생하는 미세지진(multiple event) 때문에 아직까지 해결되지 않는 복잡한 문제가 많이 있다. 지진시의 진원운동은 3차원으로 정확하게 모델링하여 시간변화에 따라 그림화 할 수 있을때 지진재해에 대한 내진설계를 위한 구체적인 방안도 더욱 개가 할 수 있다고 본다.

감사문

이 연구는 1994년도 교육부 기초과학육성비의

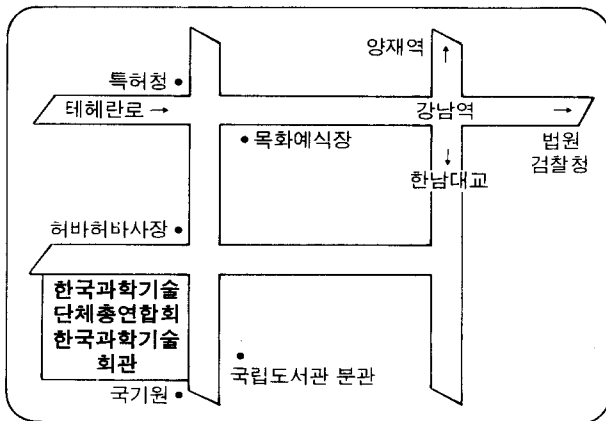
지원(BSRI-94-5420)의 일부에 의한 것임을 밝힌다.

참 고 문 헌

1. 김소구(1988). 탄성파이론, 박영사, p446
2. 김소구(1994). 지구과학(개정판), 청문각, p468
3. 김소구(1982). 지진 최대 지반 가속도에 관해서, 한국 토목공학회지 30, pp.9-15
4. 김소구(1994). 지진정후의 5가지현상, 과학동화, 동아일보사, pp.123-128
5. 김소구(1994). Is Seoul free from earthquakes?, Hanyang Journal, Hanyang University, p.22

한국콘크리트학회 이전 안내

한국콘크리트학회가 강남구 역삼동에 신축된 한국과학기술회관으로 이전합니다. 7월 초순에 이전하오니 학회를 방문하시거나 연락하실 일이 있으시면 아래 약도와 주소를 참조하시어 착오없으시기 바랍니다.



- 주소 : 서울특별시 강남구 역삼동 635-2 한국과학기술회관
- 전화번호와 팩스번호는 확정되는 대로 바로 개별 통지할 예정입니다.