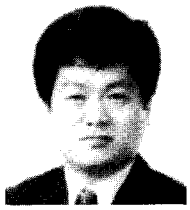
니이가타 쥬에쯔(新潟縣中越) 지진개요 및 건축물 피해 상황

윤명호 | 국립천안공업대학 건축공학과 교수



황기태 | 아키니어링(Archineering) 대표

1. 머리말

2004년10월 23일 17시 56분 니이가타현쥬에쯔(신사현중월)지방에 깊이13km에서 M6.8(최대진도 7)의 지진이 발생하였다. 그후 1시간 사이에 M6이상의 지진이 3회나 발생하는등 여진활동이 활발하고 2개의 단층을 형성하였다. 10월 27일는 이 단층에서 M6.1의 지진이 발생하였고, 그주변에서 지진활동이 일시적으로 활발하였으며, 11월 초에는 M5를 넘는 여진은 주로 북부에서 발생하였지만 그후 여진의 활동은 저하하고 있다.

또 우리들에게는 고속철도인 신칸선이 탈선된 모습이 뉴스로 방영되어 충격을 주었으며, 우리나라의 고속철도인 KTX의 안전대책은 있는 것 인지에 대해서 모든 방송과 언론이 언급하였지만 1달이 지난 지금에는 기억에서 잊혀져 가는 것 같다. 또 이번지진은 M6이상인 여진이 연속해서 발생하는 특징을 나타내고 있으며, 최대지동가속도(最大地動加速度)는 2515gal에 달하였다.

본고는 일본건축학회의 재해조사보고서를 중심으로 지진의 규모와 지진피해를 구조물의 종류별로 정리하여 소개하고 우리의 교훈으로 삼고자 한다. 또 우리나라의 리스크메니지먼트적인 차원에서 고찰해 보고자 한다.

2.지진개요

지진의 제원과 진원의 위치는 표 1과 그림 1에 나타내었다.

그림 1과 그림2는 니이가타 쥬에쯔지진의 진원과 진도분포를 이다. 그림 3은 일본의 주요단층대이다. 따라서 이번 지진은 단층대의 경계부 가까이에서 축적된 에너지가 분출되었다는 것을 알 수 있다(그림 3). 또 그림 4는 우리나라의 동해와 태평양을 종단하는 일본열도의 단면과 주요 역사지진과의 관계이다. 1964년 니이가타 지진과 이번지진은 플레이트 경계부에서 일어난 지진으로 액상화현상과 철근콘크리트조 건물, 일부 철골조과 산사태 및 산업시설물의 피해가 많이 발생하였다. 기상청이 발표한 최대진도는 Kawakuchi-cho에서 7로 크게 흔들렸다(그림2, 그림 5). 계측된 최대가속도는 강진관측망인K-

표 1. 지진의 제원

지진발생 일시	2004년 10월 23일 17시 56분	
진원위치	新潟縣中越(니이가타켄 중부)	
	북위	37.3도
	동경	138.9도
	깊이	13km
지진규모	Mw6.8(모멘트매그니튜드)	
최대진도	진도7	
최대가속도	2,515gal	

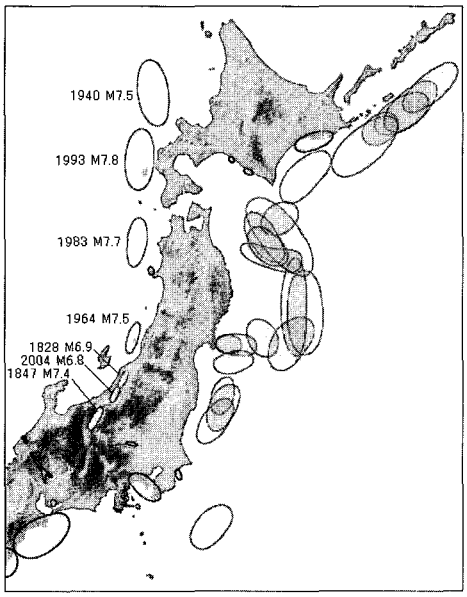


그림 1. 진원과 주요지진

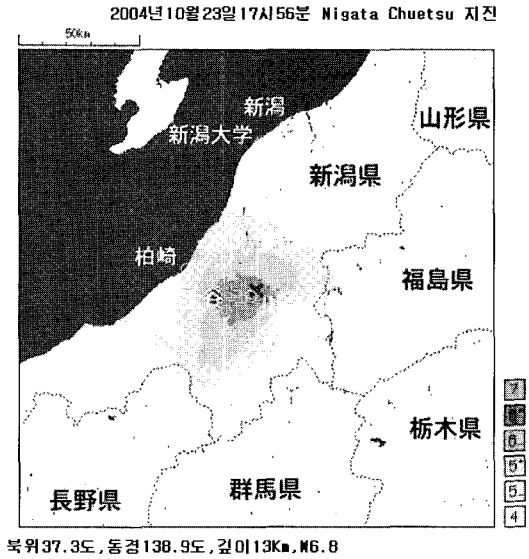


그림 2. 진원과 진도분포

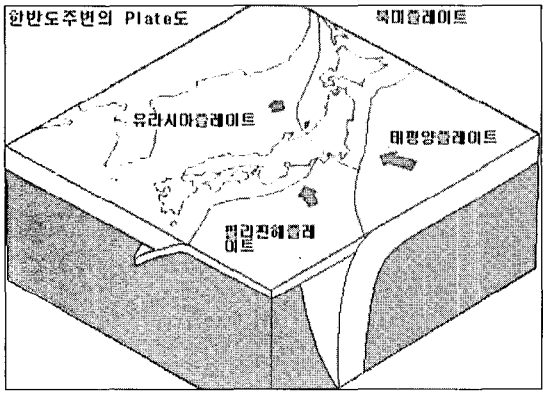


그림 3. 일본의 주요 단층대

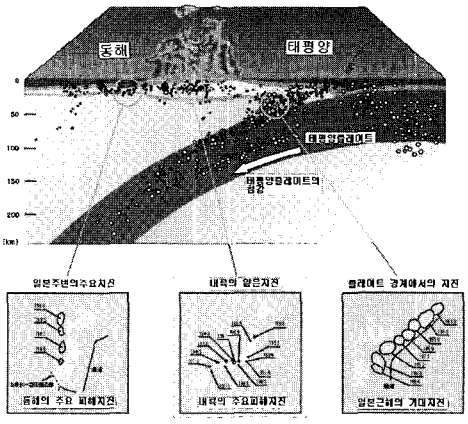


그림 4. 일본열도의 단면과 주요 역사지진

표 2. 각방향 계측최대가속도

관측점		위도 및 경도		가속도(cm/sec2)		
		북위	동경	EW	NS	UD
NIG021	十日町	37.12	138.75	849.55	1715.5	564.40
NIG019	小千谷	37.30	138.79	1307.91	1147.43	820.17
NIG028	長岡支所	37.42	138.89	706.45	871.04	435.51
NIG020	小出	37.23	138.97	407.40	521.43	312.14
NIG017	長岡	37.44	138.85	369.01	468.39	330.97
NIG023	津南	37.01	138.66	274.56	397.04	86.48
GNM003	沼田	36.65	138.08	292.51	359.12	126.05
NIG022	小澤	37.03	138.85	341.60	342.11	126.51
GNM002	水上	36.78	138.97	279.32	340.90	194.50
NIG012	鹿渡	37.68	138.48	291.12	236.72	62.93

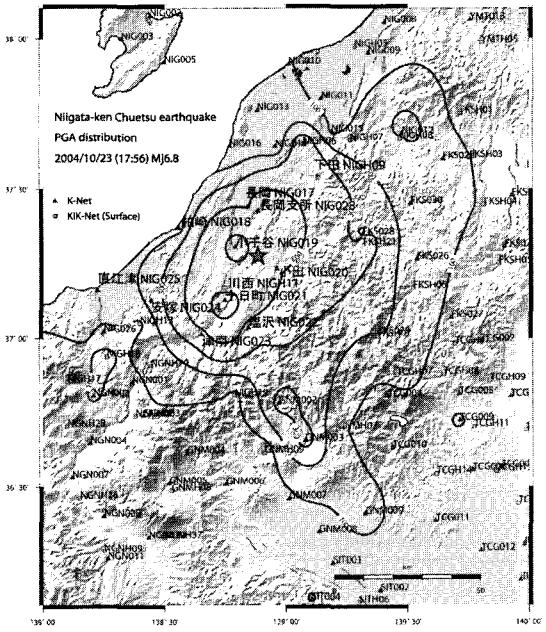


그림 5. 관측점과 진도분포

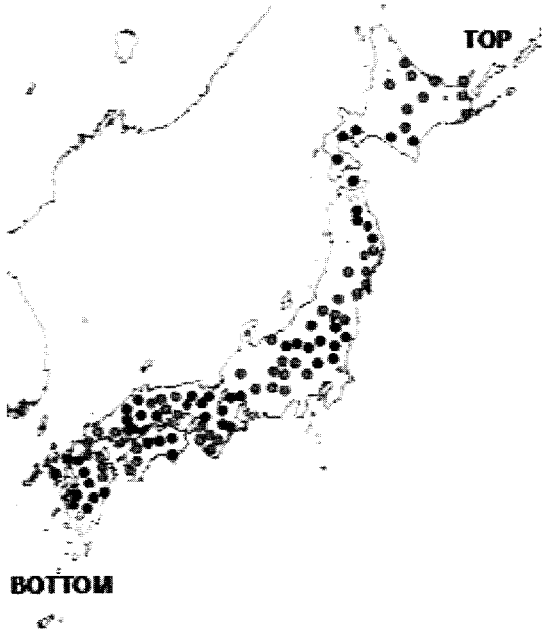


그림 6. 100개 관측지점

net(Kyoshin-net) Ojiya에서 1307.91gal이었다. 그림 5의 진원을 중심으로 한 주요 관측점의 계측지진기록의 제원을 표 2에 나타내었다,

그림 5와 그림 6은 일본 전국의 강진관측망(K-NET)이다. K-NET은 일본 전국에 25km 간격으로 1000개소에 건설된 강진관측시설로 방재과학기술연구소가 운영하고, 가속도계디지털지진계 및 기록된 강진기록을 편집하는 강진관측센터를 중심으로 강진기록을 인터넷으로 발신하는 시스템이다. K-NET에서 관측된 지진가속도 기록중에서 각 방향 최대가속도가 250 gal을 넘는 각지진동의 제원을 표 2에 나타내었다. 최대가속도는 NS방향이 탁월하지만, NIG019의 OJIYA 와 NIG012의 KASE에서는 EW방향이 탁월하고 있다.

표 3은 이번지진의 특징이기도 한 본진과 여진의

표 3. 본진 및 여진 개요

일 시	진원지		깊이(km)	M
	위도	경도		
10월 23일 17:56	37.28	138.88	13.4	6.5
10월 23일 18:03	37.35	139.00	7.2	5.8
10월 23일 18:11	37.24	138.84	14.1	5.9
10월 23일 18:34	37.30	138.94	11.3	6.4
10월 23일 19:45	37.28	138.89	15.6	5.6
10월 25일 06:04	37.32	138.99	11.7	5.6
10월 27일 10:40	37.29	139.04	11.3	6.1
11월 08일 11:15	37.39	139.03	6.8	5.5

그림 7. 지진관측지점

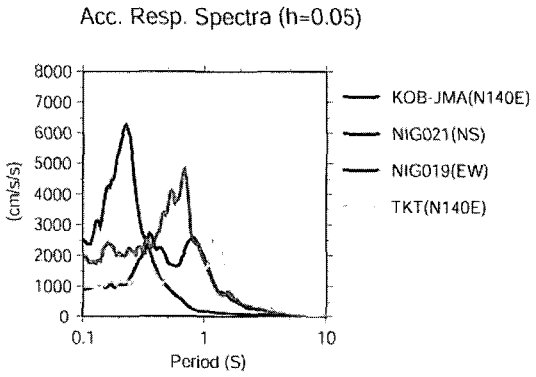


그림 8. 가속도응답스펙트럼

개요를 나타낸 것이다.

그림7은 K-NET의 지진관측점이다.

그림8은 감쇄5%의 가속도응답스펙트럼이다. NIG021(Tokamachi)NS 성분은 단주기 영역에서 탁월하고, NIG019(OJIYA)EW 성분은 1초부근에서 탁월함을 알 수 있다. 1995년 에 일어난 고베지진(KOB-JMA)보다 탁월함을 알 수 있다.

3. 지진피해

3.1 건축물 피해

니이가타겐 쥬에쯔지진의 피해액은 공공토목시설물과 고속철도인신칸센, 고속도로등 인프라시설 1조 2,000억엔, 농림수산피해 4,000억엔, 주택 등 건물피해 7,000억엔, 상공업 3,000억엔, 전기,수도 가스 등 라이프라인 1,000억엔 등 3조엔에 달할 것으로 추정되고 있다. 참고로 고베지진의 피해액은 효고현에서만 10조엔 이상인 것으로 알려져 있다. 표 4에 2004년 12월 현재 일본 소방청 통계에 의한 인적피해와 물적 피해이다.

이하의 글에서는 건축물 피해상황을 소개한다.

표 4. 피해개요(2004년12월 현재)

인적피해(명)		물적피해(동)	
사망자	40	전파	2,632
부상자	2,999	반파	8,741
피난자	4,654	일부손괴	79,321

그림 9. 대파된 목조주택

그림 10. 목조주택

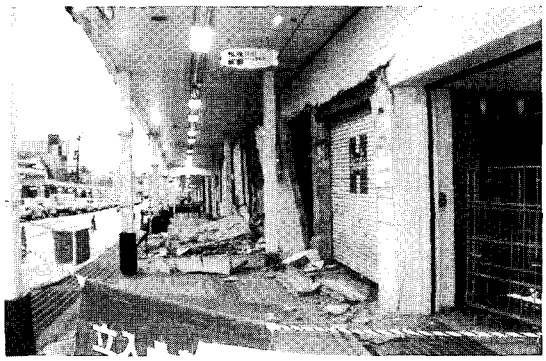


그림 11. 층외부 손상

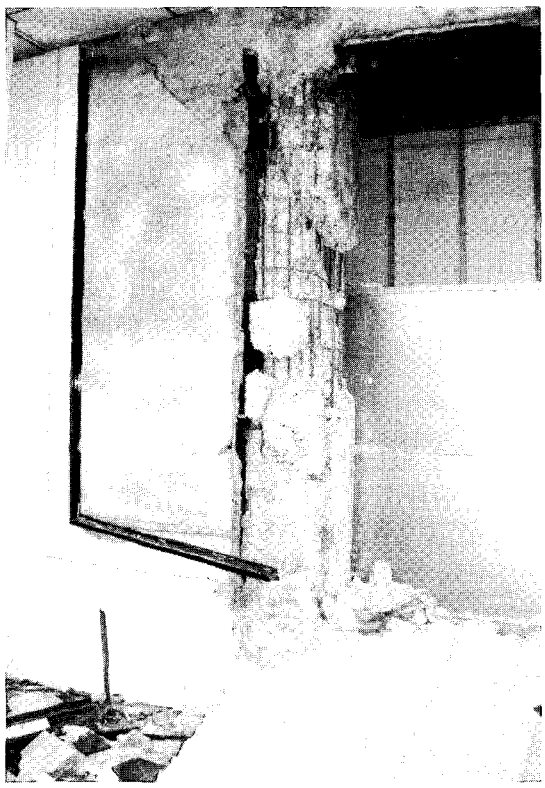


그림 12. 기둥과 외벽의 손상

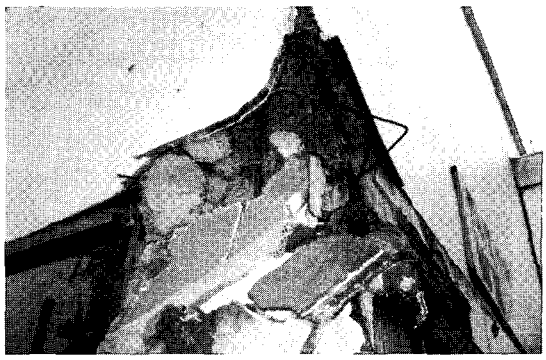


그림 13. 기둥주도부의 손상

피해를 입은 건물의 대부분은 목조건물이다. 그림 8과 그림 9는 목조주택으로 대부분 오래된 목조주택이다.

그림 10~그림 12는 철근콘크리트조건물의 피해는 1981년이전의 내진설계법을 적용받은 건물이 대부분이었다. 1층이 소프트스토리로 되어있는 구조조건과 기둥의 내력부족이 손상의 요인으로 보아진다.

그림 14는 쇼핑센터와 같이 천정이 넓은 천정의 패

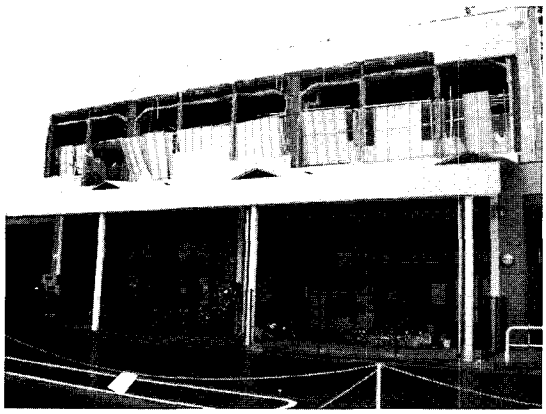


그림 14. 내장제의 낙하

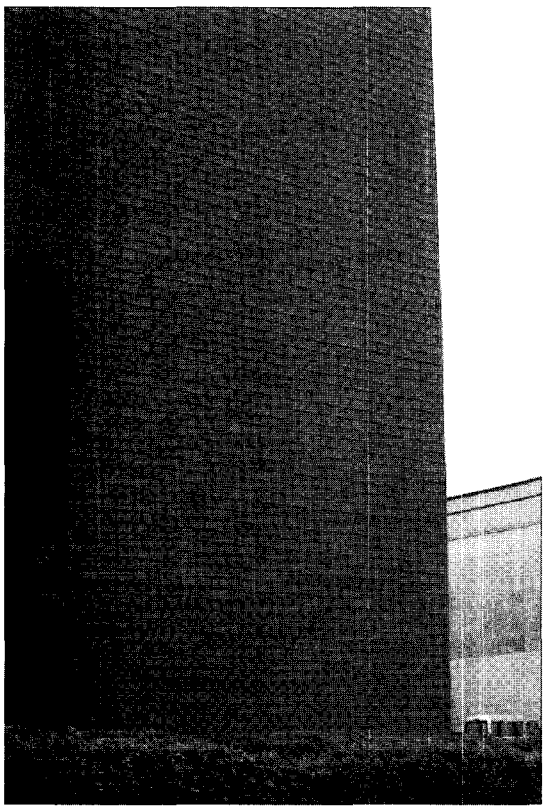


그림 15. 신내진설계법이 적용된 건물외벽의 균열

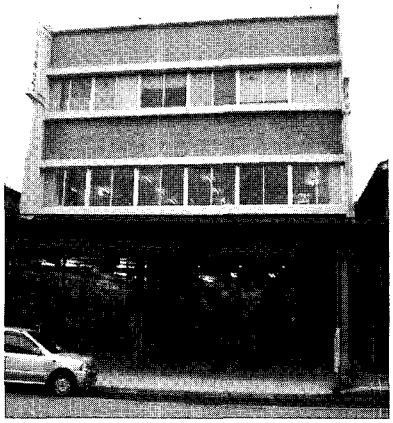


그림 16. 내진보강된 건물

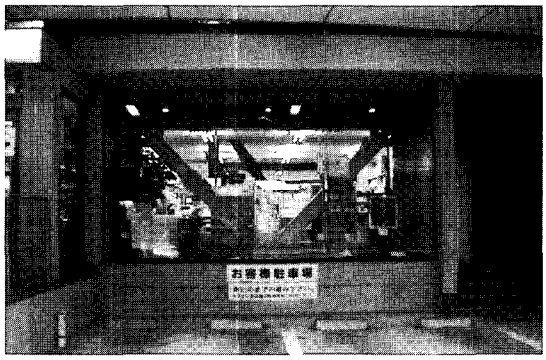


그림 17. 내진보강부분

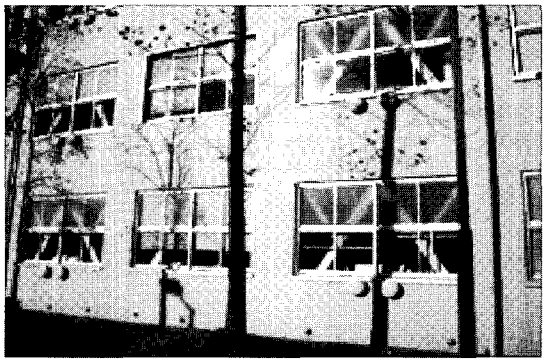


그림 18. 가새(brace)로 보강된 고등학교

널이 낙하한 경우이다. 그림 15는 1981년 개정된 신내진설계법으로 설된 건물의 외벽 균열(경미)이고, 그림 16~그림 18은 신내진설계가 적용되기 이전의 건축물을 K형의 가새(brace)를 이용하여 내진보강된 건물이다. 사진과 같이 건물의 피해는 별로 보이지 않고 있다.

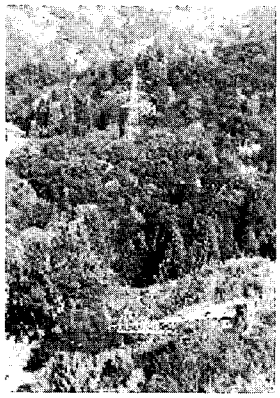


그림 19. 송전선 철탑의 도괴

그림 20. SANYO 그룹 반도체공장

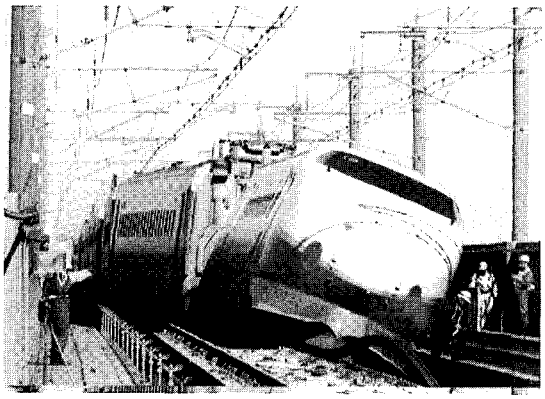


그림 21. 고속철도인 신칸선의 탈선

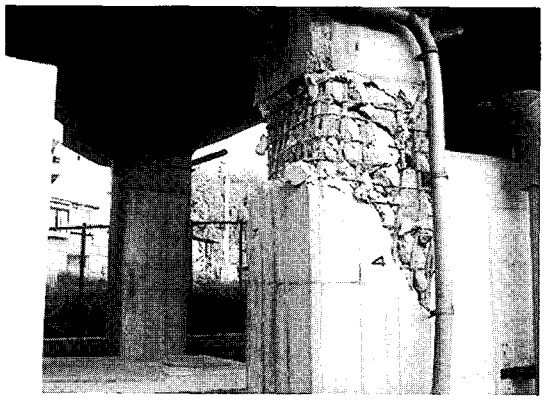


그림 22. 고속철도 고가교의 전단파괴

철골조건물의 경우 큰 피해는 없으나 주각이 손상을 입은 경우가 있었다.

3.2 시설물 피해

산업시설물의 주요피해 가운데 지진후 헬리콥터로 조사한 결과 송전선의 철탑이 3기이상 도괴된 것으로 조사되었다.

진원지인 OJIYA시에는 산요(SANYO)전기 그룹의 최대 반도체공장이 10월 23일 지진으로 조업이 중단된 채 복구하여 정상가동은 미정이라고 한다. 반도체공장의 경우 이온 주입장치 등 일부설비의 가스누출사고가 원인이다. 반도체공장에는 인체에 유해한 가스와 약품이 배관 등에서 누출이 되고 있으며, 이것을 제거하는 작업이 11월 1일에야 시작되었으며, 복구하여 정상가동하여 재품을 생산하기까지는 많은 시일이 소요될 것으로 예상되고 있다. 이것은 리스크 메니지먼트(Risk Management)적인 관점에서 보면 지진재해로 인하여 공장의 제조 기능저하에 의한 생산 및 영업손실은 이루 말할 수 없을정도이다.

토목구조물관련 피해는 고속철도인 조에쯔신칸센(上越新幹線)의 고가교 기둥의 전단파괴(그림 24)와 도로의 함몰 및 산사태(그림 25)이다. 피해를 입은 고속철도의 고가교는 8개소의 45개 기둥이었다. 그림 21은 지진으로 인하여 탈선된 모습니다. 일본철도주식회사(JR)에서는 고속철도노선에 약20km 간격으

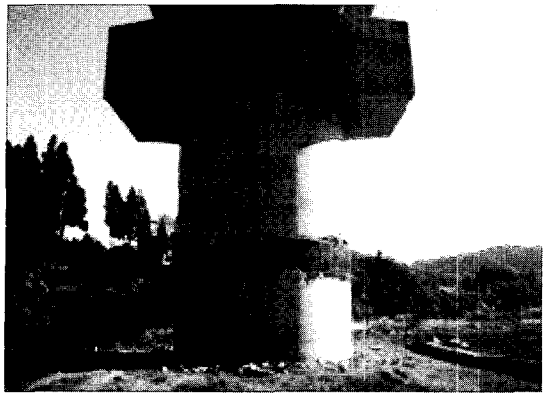


그림 23. 고속철도 고가교의 휨 파괴

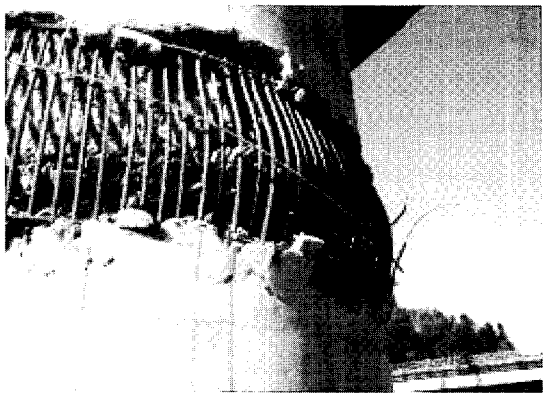


그림 24. 주근이 좌굴된 휨파괴 부분

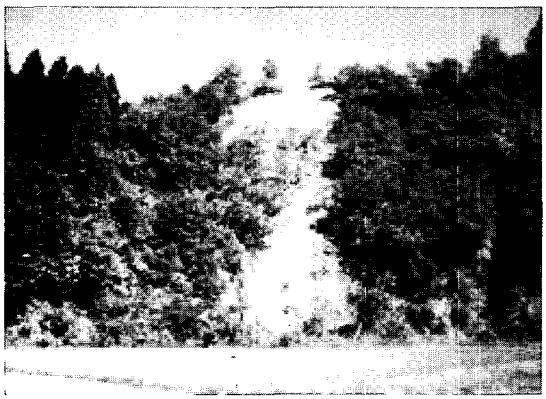


그림 25. 지진으로 인한 산사태

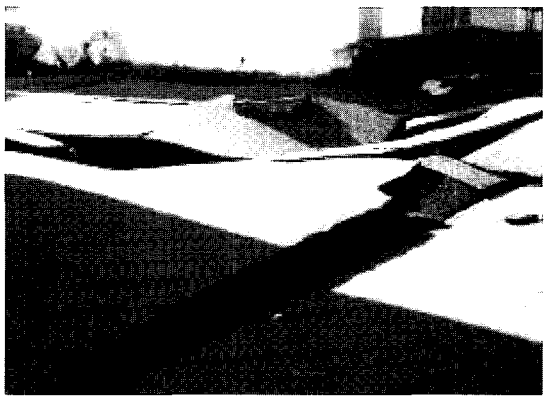


그림 26. 지반함몰 및 융기

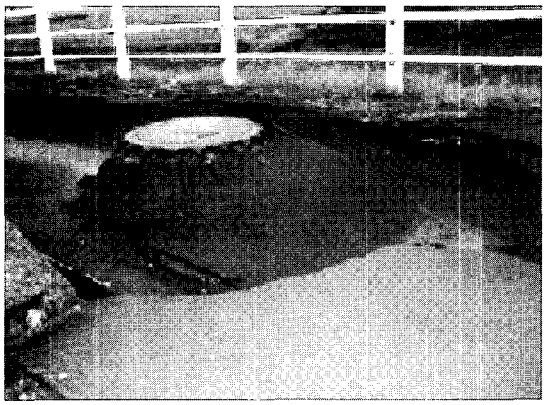


그림 27. 맨홀의 융기

로 지진계가 설치되어 있어, 지진을 감지하는 즉시 송전이 중단되는 시스템으로 되어있다고 한다. 통상적으로 이번에 탈선한 구간에서는 시속 210km로 주행하는 구간으로 지진감지에서 신칸선이 완전히 정지할때까지 걸린시간까지 약 1분 45초가 걸린다는 계산이다. 따라서 이번에 탈선한 신칸선은 여러 가지로 운이 좋았다고 할 수 있다. 진원가까이에서 감지와 동시에 흔들려서 전원차단시스템이 유효한 기능을 발휘하기 전에 탈선한 것이라고 할 수있으며, 14m의 고가교에서 추락하지 않은 것은 불행중다행이라고 하지 않을 수 없다.

본 지진이 발생한 10월 23일 오후 5시 56분경 도쿄를 출발하여 니이가타(新潟)행 신칸센은 진원지에서 가까운 나가오카(長岡)를 주행중 정차역5km전에서 큰 흔들림에 차체가 부상하여 전체 10량중 8량이

탈선하였다. 다행히 높이 14m의 고가교에서 추락하는 것은 면하였으며, 승객151명은 나가오카역으로 도보로 역무원들에의 유도되었고, 사고의 규모를 생각하면 부상자도 없었다는 것은 기적에 가깝다고 할 수 있다. 또 탈선이 시작되었다고 추정되는 시점에서 1.6km를 주행한후 정차하였으며 약 900m구간에 걸쳐 한쪽레일이 벗겨졌다.

신칸선은 1964년 개통이래 40년간 탈선무사고의 안전신화가 붕괴되었다. 신칸선은 고속으로 주행하기 때문에 역과 역을 직선으로 연결하여 산악지대의 많은 터널들을 통과한다. 만약 터널을 통과중에 대지진과 조우했다면 어떻게 되었을까? 지진후 조사에서 실로 위기일발이었다는 것을 알 수 있었다. 이 신칸선은 나가오카역으로 향하는중 지진수분전에 우오누마 터널(길이 8.6km)을 통과하였다. 이 터널은 지진후 조사에서 높이6m, 폭3m, 콘크리트두께 50cm 의 콘크리트측벽이 붕괴되어 있었다. 이밖에 다른 4개의 터널도 소규모의 콘크리트가 낙하되었다.

고속철도가 주행하는 조에쯔신칸센(上越新幹線)은 1982년에 개통하였고, 1995년1월에 일어난 고베지진 이후에도 내진보강되지 않고 있었다. JR측은 터널의 측벽붕괴는 설계에서 예상하고 있는 이상의 손상이라고 보고 산악지대에 있는 179개 터널에 대해서 단층의 위치등을 파악하여 지진시의 위험한 장소부터 보강해가겠다고 하였다.

우리나라도 고속철시대가 개막되었으므로 시간과 비용이 소요되겠지만 지진을 대비한 안전과 관련하여 투자와 관심이 요구된다.

4.결론

이번지진은 지방소도시에서 일어났기 때문에 상대적으로 피해가 적었다고도 할 수 있으나, 목조 및 중저층의 철근콘크리트조 건물과 산업시설물의 피해는 상당히 컸다. 이것은 내진설계에서 고려하고 있는 지진보다 큰 지진이 일어날 경우 건물의 피해보다도 어느 정도의 안전여유도가 있었는지가를 고려해볼 필요가 있다고 생각한다. 국가 경제력의 규모가 작을 경우에는 손상을 허용하고 내진설계법대로 설계하고 그 이상의 지진에 대해서는 어쩔 수 없다고 할 수 있으나, 우리나라도 안전성의 확보라는 면에서 양에서 질적 전환에 대해 고려해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

끝으로 자료를 제공해주신 新潟大學調査團 및 日本建築學會 여러분들께 感謝드린다.

참고문헌

1. 災害調査報告書, 日本建築學會
2. www.k-net.bosai.go.jp
3. 新潟ª中越地震被害狀況速報, 新潟大學調査團