

한신대지진에 의한 하천 시설물의 피해

유 권 규*

1. 머리말

1995년 1월 17일에 일어난 효고(兵庫)현 남부에서 일어난 한신(阪神) 대지진은 지진에 대해 안전하다고 과신하던 일본의 토목기술에 일대 경종을 울렸다. 관동대지진 정도의 지진을 견딜 수 있도록 설계되었다던 新幹線과 고속도로가 붕괴되고, 철근 콘크리트 건물들도 흉측한 물골로 무너져 버렸다. 이 와중에 하천 시설물들도 상당수 피해를 받았지만, 평상시에도 일반인들의 눈에 잘 띄지 않는 것이 하천인지라, 그에 대한 매스컴의 관심도도 상당히 낮았고, 그 피해 상황도 잘 알려지지 않았다. 마침 본인이 토목연구소에 파견되어 있는 관계로 하천 시설물 피해 자료의 일부를 접할 수가 있었고, 하천 관련 기술자와 공학자들에게 지진이 하천 시설물에 어떤 피해를 입히는가 소개하는 것도 의의가 있으리라 생각하여 이에 소개한다. 본고는 토목연구소 조사단의 보고서를 토대로 그 피해 상황을 간략히 정리한 것이다.

2. 조사의 개요

한신 대지진은 1995년 1월 17일 오전 5시 46분, 아사카(明石) 해협(海峽)의 20km 지하에서 발생하였으며, 진원지의 진도는 M 7.2였다. 진동은 진원지에서 약 30km 에 걸쳐 동북 및 남서방향으로 전파되어, 동북부의 고오베시 중심가와 남서부의 아와지시마(淡路島)를 강타하였다. 本震 이후 약 600

여회 이상에 걸친 여진이 관찰되었으며, 일부 단층에서는 약 2m 에 이르는 변위가 관찰되었다. 그림 1은 본진에 의한 각지의 진도를 나타낸 것이다.

일본 건설성 토목연구소 하천부에서는 지진이 일어난 직후 7차에 걸쳐 조사반을 파견하여 하천 시설물에 대한 피해 상황을 조사하고, 그 복구 대책을 강구하도록 하였다.

일반 하천 시설물로는 近畿지방건설국 관내 직할 하천 6수계, 8하천중 피해가 비교적 크고 조사가 가능한 3개 하천, 보조하천 11개소의 시설물을 대상으로 조사하였으며, 이들에 대한 피해 상황은 후술되어 있다. 한편, 댐 시설로는 251개 댐을 대상으로 댐 관리자들이 임시 점검을 하였으나, 안전관리상 큰 문제는 없는 것으로 판명되었다.

조사 지점은 그림 2에 보인 바와 같이 직할 하천인 요도가와(淀川) 본류 2개소, 淀川의 지류인 이나가와(猪名川)의 파천인 모가와(藻川) 1개소등의 3개소이다. 기타 조사된 소하천으로는 무코가와(武庫川), 나카지마가와(中島川), 니시우스가와(西瀬川), 시오야다가와(鹽屋谷川) 등의 11개 하천이다.

3. 피해의 개요

3.1 직할 하천의 피해

지진에 의한 피해 형태의 대부분은 둑마루에 균열이 생기거나 침하된 것이다. 특히 淀川 본류 및 淀川 지류의 猪名川(모두 진원에서 약 40km 이내)

* 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원(현 日本 建設省 土木研究所 河川研究室)

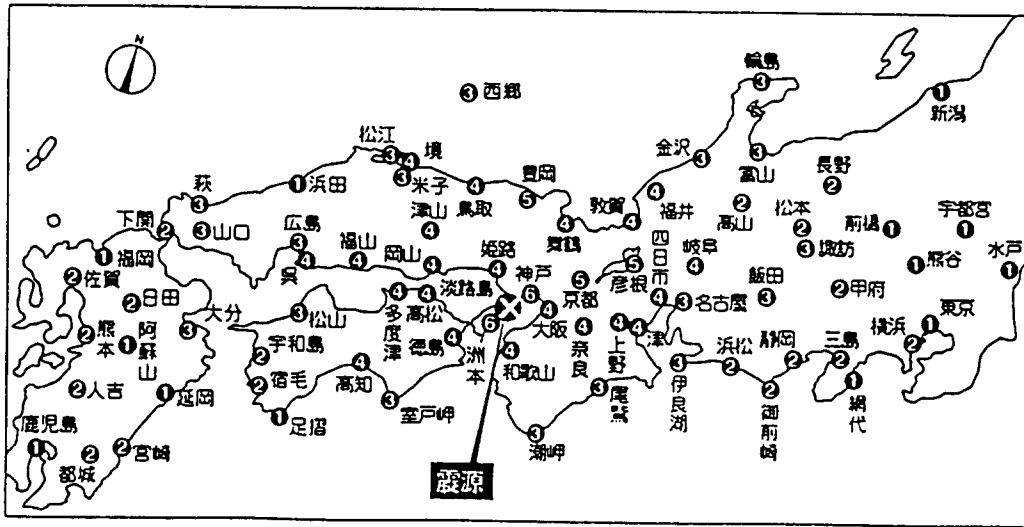


그림 1. 한신 대지진의 진도 분포(아사히그래프 2/1 긴급중간호)

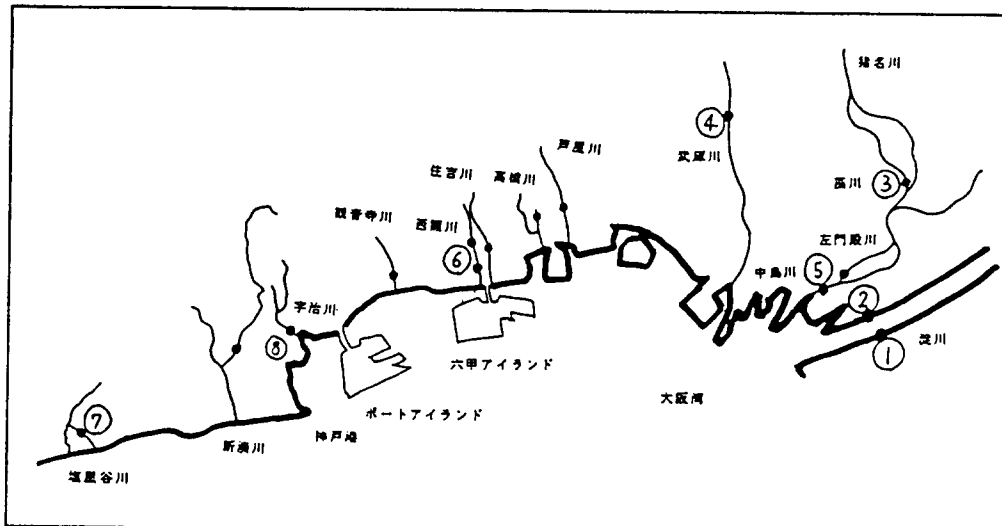


그림 2. 토목연구소의 하천 시설물 조사 위치
(그림중의 번호는 본문의 번호와 일치함)

에서, 제방(일반제방과 특수제방)이 침하하거나 제방 비탈면에 큰 균열이나 단차가 발생하는 등 피해가 발생하였다. 이들 하천에 일어난 피해의 개요는 다음과 같다.

① 淀川 본류 좌안 0.2~1.8km(大阪市 此花區 西島 지구)

지진의 진동에 의해 토제 부분이 붕괴되어 특수 제방(高潮 대책) 및 콘크리트 호안이 전도되고 독

마루가 침하하였다. 독마루(특수제방의 독마루)의 침하량은 1~2m, 최대 약 3m였다(사진 1, 2 참조). 하천 옆에 위치한 西島공원에서는 噴砂현상이 목격되었고(그림 3 참조), 인접한 주택지에서는 액상화에 의해 가옥이 수십cm 침하한 곳도 있었다.

② 淀川 본류 우안 1.2~2.0km(大阪市 西淀川區 西島 지구)

진의 진동에 의한 특수제방의 피해는 없었지만,

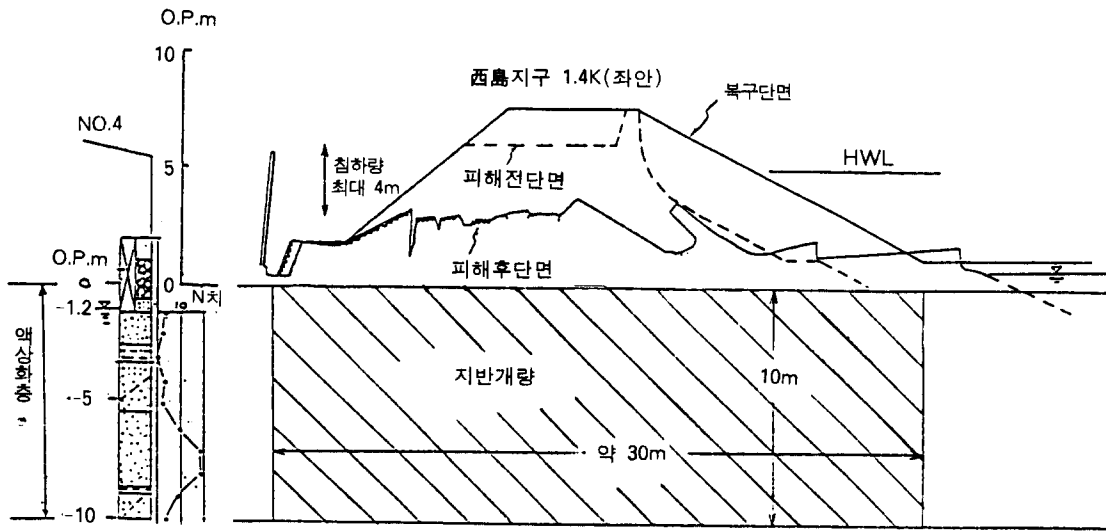


그림 3. 西島 지구 제방의 파괴 양상

제내지 비탈면이 옆으로 이동을 하여, 제체의 절반 정도가 침하하였다(사진 4 참조). 독마루상의 균열 폭은 0.2~1.5m 정도이고, 최대 단차는 1m 정도였다. 또 제내지의 기슭에서는 분사가 발견되었다.

③ 藻川(狹名川の 파천)

兵庫縣 尼崎市의 藻川 우안 0.0km 부근에는 제방의 독마루, 뒷비탈 기슭, 고수부에 걸쳐서 균열이 발생했지만, 그중에서 뒷비탈에는 폭 10~20cm, 깊이 2~3m에 이르는 균열이 발생하고, 고수부에는 폭 1m, 단차 1m의 균열이 발생했다(사진 5 참조).

한편, 우안 0.4km 부근에서는 독마루에 약 1m의 큰 단차가 발생하였고, 균열은 제방의 뒷비탈에서 앞비탈 기슭에 걸쳐서 계속되어 있다. 뒷비탈에는 폭 10~60cm의 균열이 있으며, 그 깊이는 깊은 곳에서는 약 3m 정도이다(사진 6). 제방 앞비탈

의 기슭에는 호안 블록에 걸쳐진 형태로 土堤의 말단 부분이 부풀어서 밀려 올라가 있고, 곳곳에서 분사가 발견되었다.

3.2 보조 하천 관계의 피해

兵庫현이 관리하는 하천에서 현저한 피해를 입은 곳은 武庫川과 中島川이고, 그외, 시내를 흐르는 도시하천인 西瀬川, 鹽屋川, 宇治川 등에서도 피해가 발생하였다.

④ 武庫川

武庫川에서는 하구에서 약 2.5km에서 상류의 약 6km 구간의 좌우안에서 제방의 피해가 발생하였다. 이중 특히 피해가 컸던 것은 피해 구간의 상류단 부근을 횡단하는 東海道 新幹線의 교량 부근의 좌우안으로, 교각의 붕괴, 제방의 균열이나 침하 등이 발생하였다. 먼저, 사진 7에 보인 것 같이

新幹線の 교각이 좌굴되어 교량으로서의 기능을 상실하였다. 또한, 고수부에는 사진 8에 보인 것 같이 깊이가 약 90cm 에 달하는 균열이 생기고, 하천 제방에는 사진 9와 같이 횡단 균열이 생겼으며, 이 균열은 비탈 기슭에서 시작되어 비탈면 전체에 걸쳐 독마루면까지 이르고 있다.

⑤ 中島川(淀川の 지천인 神崎川の 파천)

中島川은 淀川の 북쪽 약 2km를 흐르며, 淀川과의 사이에 흐르는 神崎川과는 하구에서 3km의 지점에서 나누어 진다. 中島川에는 3면을 콘크리트로 덮은 高潮堤防이 있는데, 이 제방의 우안이 큰 피해를 입었다. 이 부근은 제내지의 지반고가 낮는데, 콘크리트제의 제방에 생긴 균열을 통하여 누수가 발생하였다. 사진 10은 뒷비탈 경사의 균열 상황을 나타낸 것이다. 경사면의 중앙부에 종단 균열을 볼 수 있으며, 또 제방의 비탈면 기슭 부근에도 균열이 다수 있다. 한편, 사진 11은 그 제방에 인접한 공장 부지내의 아스팔트면이 부풀어 올라 균열이 생긴 상황을 보여 주고 있다. 한편, 中島川の 제방은 과거 3회에 걸쳐 제방 덧쌓기를 하였고, 최상부는 흉벽(parapet)이 마찰 말뚝으로 지지되어 있는 구조를 가지고 있다. 그런데, 제체의 흠이 지진 진동에 의해 하천쪽과 제내지로 밀려 내려왔기 때문에, 독마루 하부에는 약 50cm 정도의空洞이 생겼다. 사진 12는 독마루의 뒷비탈쪽에서 공동의 상황을 촬영한 것이다. 또한, 제방의 독마루공은 지지 말뚝과 일체로 되어 하천 쪽으로 이동하였기 때문에 말뚝의 하천쪽은 흠이 부풀어 올라가 있고, 반대로 뒷비탈쪽에서는 구멍이 생긴 상황을 볼 수 있었다.

⑥ 기타

고오베 시내에는 西瀬川을 비롯하여 도로 밑에 건설된 다수의 암거 하천이 있고, 그 대다수는 개착 박스 구조로 되어 있다. 지진에 의해 이들 하천의 콘크리트 연결부가 파손되거나 구멍이 뚫리거나 했다. 복토가 얇은 지역에서는 이 영향이 상부의 도로에까지 나타나기도 했다.

또한, 鹽屋谷川 방수로는 NATM 공법에 의해 건설된 직경 4.6m의 터널 하천인데, 방수로 주변

의 지층이 변화하는 지점(横尾山 단층)에서 覆工 콘크리트의 피해가 발생하였다. 손상은 覆工 콘크리트의 전체에 걸쳐 있고, 최대 10cm의 균열을 보였다.

한편, 사진 13에서는 宇治川에서는 하천 옆의 도로가 붕괴되어 있는 모습을 볼 수 있고, 新奏川에서는 제방에 큰 균열이 생기기도 하였다(사진 14).

4. 맺음말

토목연구소의 관계자는 피해의 주요 양상을 제방의 경우 제방 재료의 액상화에서 그 원인을 찾고 있다. 예를 들어, 그림 3은 西島 지구 1.4km 지점의 좌안제방의 파괴 양상을 보여 주고 있다. 지면에서 약 10m 깊이의 제방 기초부가 모래로 구성되어 있는 이 제방은 지진에 의해 기초부에 액상화 현상이 발생하여 제체가 무너져 내리고, 이에 따라 제체를 덮고 있던 콘크리트 구조물이나 피복 등이 붕괴된 것을 잘 나타내고 있다. 이런 현상은 사진 1과 사진 2에서도 잘 알 수 있다. 이에 수반하여 제내지에 분사 현상(사진 3)과 누수 등이 부차적으로 발생하였다. 또한 도시 하천이나 암거 하천 등은 지진의 진동에 의해 콘크리트의 연결부, 콘크리트 복공부 등에 균열, 단차 등이 발생하고, 제방에 인접한 도로 등이 붕괴하였다.

지진 발생후 토목연구소에서는 그 원인을 분석하고 사후 대책을 여러 가지로 논의하였으나, 하천 시설물의 설계 기준의 변경이나 보강 방법 등에 대해서는 아직 뚜렷한 결론을 찾지 못하고 있다. 이 부분에 대해서는 추후 연구의 진행을 지켜 보아야 할 것이다.

한편, 우리 나라에서는 이런 대지진이 일어날 가능성이 적은 까닭에 지진에 대한 대비책을 굳이 강구할 필요는 없는 것으로 보이나, 하천 전문가로서 ‘지진이 과연 하천 시설물에 어떤 피해를 입히는가’에 관심을 가질 필요는 있을 것이다.

謝辭: 자료와 사진 등을 제공하여 준 토목연구소 하천부의 中尾 하천부장, 山本 하천총괄관리연구원, 宇多 하천연구실장, 末次 주임연구원 등에게 감사드린다.



사진 1. 淀川 본류 좌안 0.2~1.8km



사진 2. 淀川 본류 좌안 0.2~1.8km

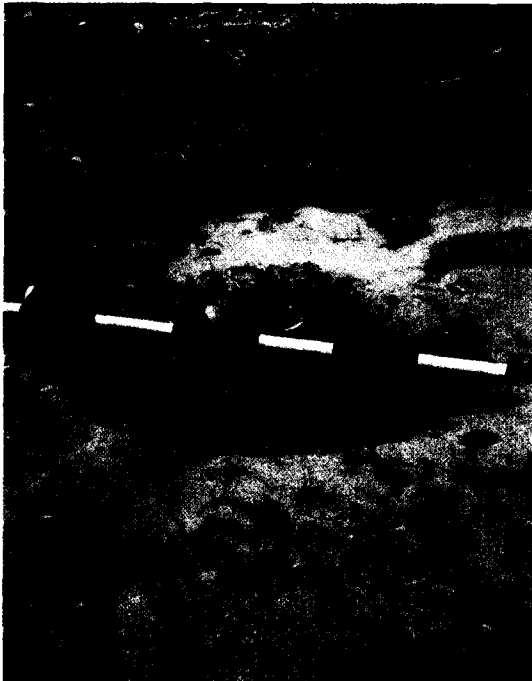


사진 3. 堤内地의 噴砂 현상



사진 4. 淀川 본류 우안 1.2~2.0km



사진 5. 猪名川の 지류 藻川 우안 0.0km



사진 6. 武庫川の 東海道 新幹線 고랑의 피해 상황



사진 7. 武庫川 고수부의 균열



사진 8. 宇治川 제방의 붕괴