

道路工事의 落石 防護工의 設計 및 施工

A study Flying rock Protect Design on the Road Build

吉田 博*

H. Yosida

1. 序 言

落石 防護工의 設置에 있어서는 斜面調査에 의한 岩石의 特定, 落下經路, 跳躍量, 落下位置 및 速度 등의 推定, 落石에 의한 衝擊力 및 Cushion材에 의한 緩衝效果의 檢討, 防護工의 選定, 防護工의 動的舉動의 檢討 등이 必要하고 斷片的으로 이들의 研究가 進行되고 있었으나 1978년에는 日本鐵道施設協會에 의해, 1983년에는 日本道路協會에 의해 이들의 研究가 集大成된 落石對策의 案內書 및 落石對策便覽이 각각 發刊되어 現場技術者 및 設計者에게 効果的으로 利用되어 왔다. 그러나 發刊以來 이미 7~11年이 經過되고 그 內容이 반드시는 實狀에 match되지 않는 面도 보여 內容을 고치라는 要望도 나와있다. 特히 1989年 6月에 發生한 福井縣 越前海岸에서의 Rock shed의 崩壞事故는 會社的으로 큰 關心을 불러일으키고 새삼스럽게 落石防護에 대한 思考方法을 明確히 할 必要性이 육박하고 있다.

지금까지 諸 外國에 있어서는 落石防護工, 눈사태 防護工 등의 構造物의 設計·施工의 實情을 調査하려고 10數個國에 文書에 의한 照會를 行하였으나 比較的 地形, 地質條件에 혜택받고 있는 歐美

諸國에는 參考가 되는 data가 不足하고 불과 北美, 독일, Swiss, Austria에서 參考가 되는 2, 3의 情報가 왔을 정도였다.

이와같은 狀況에서 日本에서의 構造物의 設計, 施工에 관한 研究는 諸 外國과는 전혀 無關係하게 獨自的으로 Swiss를, 1988년에는 France, Swiss, Austria의 3個國을 순회하여 이들 構造物의 現地 視察·調査를 行하여 落石, 눈사태 防護對策의 研究者, 防護工의 設計者·管理者와 직접 만나 現狀, 問題點, 對策 등을 詳細하게 調査를 行하여 왔다. 여기에서는 이들의 內容에 대하여 簡單히 紹介하고 落石防護工의 설계의 現狀과 그 問題點에 대하여 記述하고 落石防護工의 설계에 대한 基本的인 思考方式 및 보다 合理的인 設計手法에 대한 考察을 行하고 있다.

2. 各國의 現狀

(1) 美合衆國

Virginia州에 있어서 鋼製網 防護柵이 使用되고 있으나 覆工은 없다. 그러나 Colorado, Washington州 등 Rocky山脈의 地方에서는 少數의 Show shed나 Rock shed가 보이거나 設計基準的인 Manu-

* (株)第一-Consultant 技術顧問

al은 없다.

美合衆國에 있어서는 Texas州, Kentucky州, Pennsylvania州 等の 山間部가 많은 地方에서는 山地의 不安定한 部分을 切取하여 安定化 시키고 있는 일은 있으나 防護用的 構造物을 만드는 일은 없는 것 같다. 이와같은 意味에서 斜面의 Cut法에 대하여는 상당히 整備된 基準 등이 있다.

(2) Italy

鋼製防護柵이 主體이고 設計를 위한 簡單한 式이 準備되어 있다.

(3) Newzealand

1940年代 初期에 建設된 Snow shed와 Rock shed가 각각 1開所씩 있으나 어느것이나 鐵筋Concrete의 Tunnel lining의 應用이다.

(4) India

India에 있어서는 設計는 India道路橋 示方書에 의하고 있다. 그러나 覆工은 없고 거의가 防護柵이다. 落石의 軌跡의 解析法, 防護柵의 設計法은 確立되어 있다.

(5) West Germany

West Germany에 있어서는 München 가까운 山間部에 눈사태 防護柵이나 Snow shed가 보인다. 이들의 設計를 위한 manual이 準備되어 있다.

(6) Canada

Canada에 있어서는 鐵道 및 道路에 相當한 Snow 및 Rock shed가 使用되어 있으나 아직 詳細한 情報은 얻어져 있지 않다.

(7) France

France의 눈사태·落石地帶는 國土의 극히 一部이고 그루노블地方에 많다. 1992년에 開催된 冬季 Olympic의 그루노블로가는 鐵道上에 大規模인 落石의 危險性이 있었고 1977년에는 이 道路에 높

이 600m, 幅 500m의 넓이에 걸쳐 2~3만 m^3 의 崩壞가 있었다. 이때는 다행히 車는 通行하고 있지 않았으나 多數의 岩石이 落下하고 큰 岩塊는 200 m^3 정도였고 家屋과 驛舍를 破壞하였다. France에서의 落石의 特徵은 이와같이 그 規模가 커서 10 m^3 ~200 m^3 에 이르고 設計를 위한 衝擊力의 解析이 不可能하고 또한 可能하여도 이것에 對應할수있는 構造物의 設置가 不可能하다.

따라서 落石을 道路에서 直接 防護하는 構造物은 設置하지 않고 斜面上을 落下하는 巨岩이 어떠한 經路로 落下하는지 어디까지 到達하는지의 檢討가 行하여지고 있다. 이와같은 巨岩이 落下하는 것이 豫相되는 地域에서는 Concrete防護提를 만들어 巨岩을 停止시키던지 Tunnel로 對應하는 것을 생각 하고 있다. 防護提를 만들 경우에는 巨岩이 그 위를 通過하지 않는가 어떤가 防護提가 破壞되지 않는가 등의 檢討가 行하여지고 있다. Tunnel을 만들 경우라도 Concrete堤防에서 落石의 energy를 일단 減衰시켜 Tunnel로의 作用應力이나 衝擊에 의한 振動을 減少시키고 있다.

France에서는 눈사태覆工은 상당히 많은것 같으나 落石覆工은 大規模인 것이 要求되어 工事費가 Tunnel의 2倍以上이 되고 또한 豫算이 確保되지 않으므로 落石覆工의 建設은 거의 없고 危險開所에서는 落下가 豫想되는 岩塊의 安定化에 努力하고 있는것 같았다.

(8) Swiss

Swiss의 道路는 山間部로 들어가면 氷河에 의해 夾여진 U字谷의 狹아지른듯한 岩石과 湖나 江사이에 끼워진 좁은곳을 통과하고 있는 일이 많다. 山側으로 岩이 狹아지른듯이 솟아 있기 때문에 岩盤에 crack이 생기면 큰 崩落이 發生한다.

따라서 落石覆工이 敷設되어 있지않는 crack이 생긴 岩盤에는 rope가 둘러쳐져 있고 恒常 落石의

危險성이 정성들여 調査되어 危險한 岩塊는 1個1個씩이 어떻게 하여 安定化 하는가가 檢討된다. 危險하다고 判斷되면 PC anchor로 地山에 岩塊를 固定하고 Concrete로 根固하고 崩落이 豫想될 경우에는 落石覆工이 架設된다.

Swiss에서는 20年以上 前에 落石試驗이 行하여져서 그 結果에 의거하여 cushion材의 材質과 支撐部材의 構造가 選定되어 落石覆工이 施工되고 있다. 一般的으로 落石覆工을 設計·施工함에 있어서는 몇年이나 消費하여 岩盤의 crack의 狀態 등을 調査하고 또한 未解明의 部分은 實驗을 行하던가 하여 現場에 가장 適合한 合理的인 設計·施工을 行하는 것을 基本으로 하고 있는것 같다. 따라서 Swiss의 落石覆工은 現場마다 特殊한 構造形式으로 되어 있다.

(9) Austria

Austria에 있어서는 道路가 比較的 完만한 傾斜의 山間部를 通過하고 있고 落石에 대한 防護對策보다 오히려 눈사태에 대한 防護對策에 重點을 두고 있다고 생각된다. 特히 티롤 地方에서는 積雪이 많고 大規模의 눈사태가 發生하기 때문에 눈사태 防護覆工이 多數 設置되어 그 延長도 상당히 올라가 있다. 눈사태覆工은 거의가 新道路에 架設된 것으로서 그 延長은 긴것은 십수km에 달하고 있다. 舊道路는 Bypass로 하여 만들어진 것이나 Ski場 등이 이 舊道路에 있고 冬季에 있어서는 舊道路가 利用되고 있다.

調査時에 訪問한 舊道路에서도 數週日 前에 150年만이라는 大規模의 눈사태가 發生하여 多數의 희생자가 나왔다는 것이다. Austria에 있어서는 눈사태·落石覆工의 構造形式은 多種多樣하나 現場마다의 荷重, 地形에 맞춘 合理的인 設計가 이루어지고 있고 또한 全體的으로 design을 重視한 設計로 되어있다.

3. 落石의 落下經路와 衝擊力의 評價

France 國立中央 土木研究所(LCPC)의 Lyon 地方 土木研究所의 岩盤力學部長 Louis Roche氏는 그의 energy에 대하여 研究를 하고 있다. 前述한바와 같이 France에 있어서는 落石을 直接 道路上에서 防護하는 覆工의 架設보다 오히려 落石의 落下經路와 그 energy를 檢討하여 防護用 concrete堤防을 만들고 다시 Tunnel을 設置하는 등 巨岩의 落石對策이 講究되고 있다. 이와같은 意味에서 落石의 落下經路와 그 energy의 評價가 防護對策의 重要한 point가 된다.

Louis Roche氏의 研究는 「落下對策을 위한 落下經路 解析의 數值model의 適用」으로 題目한 論文 등에 掲載되어 있다.

1992年の Olympic開催地인 인스브르크로 가는 道路上에 大規模의 落磐의 危險성이 있었다. 1977년에는 이 道路에서 높이 600m, 幅 500m의 넓이에 걸쳐 2~3만m³의 崩壞가 있었다. 多幸이 車가 通過하고 있지 않았으나 多數의 岩石이 落下하여 큰 岩塊는 200m³정도나 되고 家屋과 驛舍를 破壞하였다. 이때의 落石의 落下經路를 Simulation하여 衝擊力을 計算할수가 있었다.

危險開所의 防護對策으로서 防護用의 Concrete堤防을 만들 경우 그 位置, 높이, 크기의 檢討를 이 Simulation解析法을 使用하여 行하였다. 또한 斜面上에서의 防護用의 Concrete堤防으로 落石의 energy를 減衰시켜 이곳을 通過한 落石을 防護하기 위한 Tunnel을 만들었을 경우 이 Tunnel의 應用解析 및 振動解析에 必要한 衝擊力을 이 Simulation 解析法에 의해 檢討하였다.

이 Louis Roche氏의 研究에 대하여, 解析에서 必要한 斜面 및 落石에 관한 具體의인 數值 및 解析法의 詳細에 대하여는 아직 施行錯誤의 部分이 많은것 같다.

Swiss에 있어서는 1985年 11월에 Swiss 道路

交通·Energy 經濟省이 監修한 主로 落石防護網(弔柵)을 對象으로한 指針「落石防護」의 第2版이 出版되고 이 中에서 落石의 落下經路 및 그 energy의 評價를 극히 單純化한 形式으로 表示하고 있다.

落石의 衝突energy가 算定되면 落石防護網(弔柵)과 같이 吸收energy가 어느정도 山情possible한 防護構造物에 대해서는 設計가 可能하고 또한 衝擊力을 計算하는 것도 할 수 있다. 그러나 一般的인 防護工에 대하여는 設算energy가 計算되어도 cushion材의 性質에 따라 覆工에 作用하는 衝擊力은 不同하고 合理的으로 衝擊力을 推定하는 것은 困難한 狀態이다.

Swiss의 Consultant Dr. Brwin Kessler는 落石覆工上에 모래 및 자갈이 敷設되어 있을 경우에 그 위에 落石이 있었을 경우 衝擊力의 推定을 土質力學的인 觀點에서 獨特한 方法을 提案하고 있다.

4. 防護工의 構造

(1) 一端固定式 Rock shed

Swiss에 있어서는 一端固定式 Rock shed을 도처에서 볼 수 있다. 一端固定式의 Rock shed은 谷(골짜기)側에 基둥이 없기때문에 運轉者에게 壓迫感이 없고 또한 谷側의 전망도 좋기때문에 谷側의 아름다운 景觀을 즐기면서 運轉이 可能하고 또한 Rock shed의 外觀도 좋으므로 景觀이 뛰어난 Swiss에서는 가장 優秀한 構造形式이라고 할 수 있다.

이 構造形式을 採用하는 가장 큰 理由는 上記한 理由도 있으나 工事費가 谷側에 基둥을 세울 경우보다 經濟的이라는 것에 있다. 一般적으로 谷側의 基礎基盤은 나쁘고 基둥의 基礎工에 多額의 費用을 必要로 하기 때문에 谷側에는 基둥을 設置하지 않고 一端固定形式으로 하고 있다. 一端固定形式의 shed에는 上梁과 支柱로 三角形을 形成하는 構造形式과 谷側에서 얇고 山側에서 두꺼운 一端固定板

形式의 것이 있다. 어느것이나 反力은 岩斜面에 잡는 것으로 構造物 上側의 引張反力은 Rock anchor에 의하고 있다.

三角形 形式의 것은 上梁이 힘을 받는 引張材가 되고 支柱는 純壓縮材가 된다. 따라서 引張力에 充分히 抵抗할 수 있는 것이어야 한다. 이 上梁에는 Rock anchor에 接續한 Out Cable을 使用하고 上梁에 Prestress를 導入한 것과 上梁의 山側端部의 突起에 Anchor bolt를 通하여 Rock anchor 頭部에 締結하는 것이 있다. 이 경우 上梁은 휨과 引張을 받는 鐵筋Concrete 部材가 된다.

(2) 開口部를 갖는 Arch형 Shed

Swiss·Austria에서 많이 보이는 Snow 및 Rock shed으로 現場打設 鐵筋Concrete製로 谷側に 開口部가 있는 Arch形式의 것이다.

(3) 開口部를 갖는 Rahmen形式 Shed

이 형식의 Shed는 日本에서도 많이 볼 수 있는 것으로 거의가 現場打設 鐵筋Concrete製의 것이다.

France의 Aix les Bairs의 鐵筋Concrete製의 Rock shed는 鐵道·道路 並用的 것이고 架設現場 近處의 yard에서 制作된 것을 1block 수천ton의 것을 1block씩 移動시켜 架設 되었다.

5. 日本에 있어서의 落石의 調査 및 覆工 設計의 現狀

現在 日本의 Rock shed의 設計는 一般적으로 다음의 順序로 行하여 지고 있다.

(1) 調査

落石對策의 調査에 있어서는 落石의 豫想되는 區域, 落石의 發生形態, 規模, 運動形態, 地形, 地質條件 등을 精確히 判斷하지 않으면 안된다.

落石 危險開所에서는 落石이 반복하여 發生되고

있는 일이 많으므로 落石의 覆歷調査를 實施함과 함께 現地踏査에 의해 落石 豫備物質의 有無를 確認할 必要가 있다. 落石의 energy는 落石이나 斜면의 特性에 의해 현저하게 다르기 때문에 落石의 發生地點, 重量, 形狀, 斜면의 勾配, 樹木의 繁茂狀況, 淨石, 轉石의 分布狀況 등을 調査할 必要가 있다. 또한 必要에 따라 Boring 등에 의해 危險個所의 地盤性狀을 把握하는 일도 있다.

(2) 危險度の 判定

落石의 危險度란 對象物으로의 影響을 災害의 發生頻度와 規模로 綜合的으로 判斷한 結果이고, 判定方法 및 判定事例는 落石對策 便覽의 資料編에 指針案이 記載되어 있다. 그러나 調査가 상당히 大規模인것, 定石化된 方法이 없는 것, 또한 ○×의 數나 點數에 의한 評價에 의해 落石의 相對的 危險度는 評價할 수 있어도 絶對的 危險度を 判定하는 것은 困難하다. 이와같은 採點法을 補完하는 手法으로서 土質力學的 考察에 의거한 檢討도 볼 수 있으나 실용화에는 채워넣어야할 問題가 남아있다.

이와같은 實狀에서 一般的으로 危險度の 判定은 現地調査時에 行하고 地形的要素로서 斜面이 높거나 勾配가 急峻하거나 Over hang되어 있는 등의 경우 危險도가 높다고 判定하고 있다. 落石의 形態로서는 자갈이나 岩塊가 빠져나와 떨어지는 型和 岩盤의 剝離型으로 地質的으로 分類되고, 빠져나와 떨어지는 型의 경우에는 地山 全體의 弛緩이나 固結度, 剝離型의 경우에는 岩盤의 發達정도나 方向을 觀察하여 危險도가 判定된다.

(3) 落石 防護工의 選定

落石對策工은 落石豫備物質을 除去하거나 斜面に 固定하는 落石豫防工과 斜面에서 轉落 또는 落下되어 오는 落石을 받아 멈추게 하는 落石 防護工으로 分類된다. 落石防護工에는 落石防止網, 落石防止柵, 落石防止壁 등의 比較的 落石energy가 작은 경우에 대한 構造物과 큰 energy에 대처할 수 있

는 Rock shed으로 分類된다.

落石防護工의 選定에 있어서는 落石energy, 地形條件, 地質條件, 道路條件, 施工條件 등을 考慮하여 選定된다. Rock shed의 경우에는 다른 落石防護構造物에 비해 高潮規模가 크고 高價이다. 永久構造物로서 使用 되므로 보다 信賴性 및 耐久性이 優秀한 設計가 要求되고 있다.

Rock shed에는 PC製, RC製, 鋼製의 것이 있고 이것들은 主로 落石規模, 施工條件 등에 의해 使用이 區分된다.

(4) 落石徑 및 落石中量이 推定

設計의 對象이 되는 落石의 크기는 過去의 資料, 現地踏査 등에 의거하여 決定된다. 一般的으로는 耐用期間中에 일어난다고 생각되는 落石을 對象으로 하고 있으나 落下의 可能性에 대한 判定은 設計者의 經驗的 判斷에 맡겨지는 일이 많다.

(5) 落石의 運動과 落下位置·落下速度의 推定

落石의 發生位置는 現地踏査에 의해 設計의 對象이 되는 落石의 最高地點을 推定하여 決定하고 있다. 特히 落下高가 높고 明瞭한 遷急(급히 옮겨지는)點이 있을 경우에는 그 位置를 落下位置로 하고 있다.

落石의 運動形態, 落下位置 및 落下速度의 推定法에 대하여는 章을 바꿔 檢討한다.

(6) 落石에 의한 衝擊力 및 그의 分布

Rock shed의 設計를 위한 落石에 의한 衝擊力의 算定法 및 그의 分布에 대하여는 章을 바꿔 檢討한다.

(7) Rock shed의 설계

落石防護工의 設計는 落下防止網, 落石防止柵, 落下防止擁壁 등과 같이 落石의 運動energy와 構造物의 塑性變形에 의한 吸水energy에 의거한 設計法과 Rock shed와 같이 落石의 衝擊荷重을 靜的荷重으로 置換하여 彈性理論에 의거한 許容應力

度法에 의한 設計法으로 區分된다. 前者는 構造形式이 比較的 單純하고 變形容量의 計算이 簡單하나 後者에 있어서는 構造物의 規模 및 重要度가 크고 따라서 變形의 許容值의 決定이 困難하다 等에 의하고 있다.

Rock shed의 設計荷重으로서 落石荷重 以外에 積雪荷重, 雪崩荷重, 崩土荷重, 推積土荷重 等에 대하여도 必要에 따라 考慮된다.

前述한바와 같이 現在 Rock shed의 設計는 落石對策便覽에 의거하고 있다. 落石對策便覽에는 「便覽의 內容은 決코 基準은 아니고 그 內容을 menu的으로 參考로 한다」는 것이 明記되어 있으나 現實은 「基準」的인 取扱으로 되어 있다.

落石對策便覽에서는 落石覆工의 設計는 許容應力度法에 의하는 것이 適當하다고 되어 있어 許容應力度에 대하여는 基本的으로는 道路橋의 경우에 準하는 것으로 하고 있다. 즉 道路橋 示方書에 規定되어있는 許容應力度를 使用하고 規定되어 있지 않은 事項에 대하여는 Concrete 標準示方書 等이 參考가 된다고 되어있다. 다시 荷重의 組合에 대한 許容應力度의 割增率은 道路橋 示方書에서의 地震時의 規定을 準用하고 있다.

道路橋에 있어서는 荷重, 許容應力, 荷重의 組合에 대한 許容應力의 割增 等에 대하여는 수많은 연구가 이루어져서 그 成果가 反英되고 있으나 Rock shed에서의 이들의 研究는 극히 적고 道路橋에 準한 取扱도 부득이한 面도 있으나 基本的으로는 Rock shed은 橋梁과는 다른 設計思想으로 設計되어야 할 性格의 構造物이라고 생각된다.

道路橋에 作用하는 荷重은 示方書의 規定뿐만 아니라 車輛制限令 等の 法令에 의한 制限値가 있다. 勿論 違反車輛의 存在도 無視할 수 없으나 그 變動은 限定된 範圍內에 있다고 생각해도 좋다. 다시 落石時의 許容應力度의 割增率을 道路示方書에 있어서는 地震時의 規定에 準하여 決定하고 있는것도 이것에 관한 研究가 거의 이루어져 있지 않으므로

부득이한 面도 있으나 本質的으로는 落石荷重과 地震荷重은 서로 다른 取扱이 이루어져야할 性格의 것이다.

6. 落石에 의한 衝擊力의 推定

(1) 衝擊力의 推定에 관한 過去의 研究

落石이 Rock shed에 衝突 했을때의 衝擊力에 관한 研究는 1965年頃부터 實務에 關係하는 技術者, 研究者들에 의해 始作되어 몇개의 理論式 및 實驗式 等이 提案되어 있다.

그 主要한 것을 아래에 表示하난.

a) 小松澤의 式

sand cushion이 彈性spring K로 表示되고 落石이 이 spring 위에 衝突하는 것으로하고, 落石의 位置energy와 spring의 變形energy가 같다라는 條件으로부터 衝擊力을 求하고 있다.

이것은 彈性energy 理論으로부터 誘導된 單純明快한 異論式이나 sand cushion은 實際에는 彈性舉動을 나타내지 않고 spring定數로서 어떤值를 使用하면 좋은가가 問題가 된다.

b) 振動便覽의 式

落石의 衝突現象을 2개의 彈性體間의 衝突現象으로 보는 것이고 A.E.H.Love의 2개의 彈性體가 衝突할때의 物體間의 壓力에 관한 基礎方程式으로부터 出發하여, Herz의 接觸論을 利用하여 2物體間에 作用하는 힘을 求하고 있다. 衝擊力의 導出에 있어서는 sand cushion을 半無限 單性體로 하고 그 위에 落石으로서 剛球가 衝突하는 것으로 假定하여 다음 式을 誘道하고 있다.

$$P = 2.47 \lambda^{2/5} W^{2/3} H^{3/5} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서는 W는 落石의 重量(tf), H는 落下 높이(m), λ 는 sand cushion의 Lamé定數(tfm²)이다. 매우 軟한것은 $\lambda = 100\text{tf/m}^2$, 軟한것은 $\lambda = 300 \sim 500\text{tf/m}^2$, 굳은것은 $\lambda = 1000\text{tf/m}^2$ 이라고

되어 있다. 이 理論式에 있어서도 sand cushion은 實際에는 어떤 有限한 層 두께인 것이거나, sand cushion이 非彈性 性質을 갖는다고 하는 特性, 또한 落石形狀은 一般的으로는 球形은 아니라는 등의 影響은 考慮되어 있지 않다. 이들의 問題點을 檢討하기 위하여 重錘形狀의 影響이나 有限 砂層두께가 落石의 加速度에 주는 影響에 관한 研究도 進行되고 있다.

c) 質點model에 의한 研究

園田, 小林 等은 b)의 振動變更式의 理論的인 適用限界를 明白하게 함과 함께 Kelvin·Pvoigt model을 使用하여 sand cushion의 非彈性 性質을 考慮한 衝擊力 評價式을 表示하고 있다.

다시 Rock shed의 剛性和 質量을 考慮한 model에 대하여도 研究가 行하여지고 있다. 이들의 model에 의하면 衝擊力의 定性的인 評價를 行할수가 있다. 그러나 落石의 衝突에 대해 複雜한 舉動을 나타내는 sand cushion을, 比較的 簡易한 model을 使用하여 表現하고 있기 때문에 具體的인 諸 定數의 決定方法이나 model 適用範圍가 限定되는 것 등의 問題點이 있다.

d) 鋼材club의 實驗式

鋼材club에서는 實物大의 鋼材Rock shed을 使用하여 日本에서 最初의 落石實驗을 行하고 있다.

實驗에서 얻어진 最大 加速度로부터 衝擊歷은 다음式으로 標示된다.

$$P = kWH/g \dots\dots\dots (5)$$

여기에서 W는 落石의 中量(tf), H는 落下高(m), g는 重力加速度(9.8m/s²)이고 k는 比例定數이다. k의 값은 落下位置에 따라 다르다. 이 研究에 의하여 落石의 衝擊力이 어느정도의 것인가가 처음으로 實驗的으로 表示되었다.

e) 吉田 等の 實驗式

3重의 sand cushion을 使用하여 實物大의 落石實驗을 行하여 加速度 波形에 있어서의 作用時間

T₀에 着目하고 다음式으로 表示되는 實驗式을 表示하고 있다.

$$P = 2W/g \cdot V/T_0 \dots\dots\dots (6)$$

여기에서 α는 所定の 信賴度에 대한 係數이고 W는 落石의 中量(tf), V는 衝突速度(m/s), g는 重力加速度(9.8m/s²)이다.

이 研究에서는 實驗結果를 使用하여 運動量과 力積을 近似的으로 같다고 하는 理論的인 假定에 의거하여 導出되어 있다. 그러나 衝突力은 다시 sand cushion을 介在하여 傳瀆되는 것 등을 考慮하면 嚴密하게는 Rock shed에 作用하는 衝突力을 表示하고는 있지않는 것이 된다.

f) 吉田·傑谷 等の 研究

吉田·傑谷 等은 Concrete基礎上的의 sand cushion위로의 落石實驗을 行하고, 落石의 加速度와 sand cushion底面의 土壓에 대하여 그 特性을 調査하고, 그 結果 Rock shed의 荷重을 생각할 경우 土壓에 의한 衝擊力을 算定하는 便이 落石의 加速度보다도 合理的인것을 明白하게 하고 있다. 지금까지 行하여진 落石實驗結果를 data base化하여 土壓에 의한 衝擊力에 의해 d)와 類似한 形으로의 다음과 같은 衝擊力 評價式을 表示하고 있다.

$$P = \beta_0 W/g \cdot V/T_0 \dots\dots\dots (7)$$

여기에서 W는 落石中量(tf), V는 衝突速度(m/s), g는 重力加速度(9.8m/s²)이고 T₀는 衝擊力의 作用時間(sec), β₀는 sand cushion의 影響을 表示하는 係數로 각각 다음式으로 表示된다.

$$T_0 = (0.0481 - 0/00065H)W^{0.270}(U_c/U_{co}) \dots (8)$$

$$\beta_0 = -4.81(h/h_0) + 5.84(h/h_0 < 1) \dots\dots\dots (9a)$$

$$\beta_0 = 1.03(h/h_0 \geq 1) \dots\dots\dots (9b)$$

h는 sand cushion의 두께, U_c는 均等係數, h₀는 基準sand cushion의 두께(90cm)와 U_{co}는 基準平均係數(1.53), H는 落下高(m)이다.

또한 落石에 의한 衝擊力이 Rock shed에 미치는 動的影響을 明白하게 하기 위하여 PC製의 Rock shed 지붕부를 使用하여 落石實驗을 行하고 Rock shed의 應答係數의 思考方式을 明白하게 하고 있다. 이것은 橋梁에 있어서의 衝擊係數에 對應한 것이다.

g) 園田의 研究

園田은 落石이 不確定性이 強한 現象이므로 드물게 發生하는 매우 큰 落石荷重을 對象으로 Rock shed의 終局限界狀態로서 脆破壞를 假定하고 이 경우의 落石 荷重의 特性에 대하여 檢討를 行하고 있고 Rock shed가 塑性mechanism의 發生에 의해 崩壞한다고 假定하면 energy原理에 의해 落石荷重의 評價가 可能하게 되는 것을 表示하고 있다.

(2) 衝擊力評價에 관한 整理

이와같이 落石의 衝擊力 評價를 目的으로 한 理論的, 實驗的인 研究가 進行되어 落石落下條件이나 sand cushion의 條件, Rock shed의 構造條件이 定해지면 適用範圍는 限定되던지 어느정도는 衝擊力의 推定이 可憎하게 되었다. 그러나 남은 問題點도 많고 이것을 整理하면 다음과 같이 列擧할 수 있다.

1) 衝擊力의 最大値는 sand cushion의 狀態에 따라 상당히 다르고 實驗에 있어서도 큰 變動이 確認되어 設計에 있어 落石中量과 衝突速度(또는 換算落下高)만으로는 荷重을 決定하는것은 그다지 工學的으로 合理的이라고는 생각되지 않는다.

2) Rock shed의 構造特性도 衝擊荷重에 影響을 미치는 일이 상당히 明白하게 되어 있으므로 그 動的效果를 考慮하면 보다 合理的이라고 생각된다. 특히 大規模의인 落石을 對象으로한 Rock shed에서는 設計에 있어 이것을 어떤 모양으로 考慮하지 않으면 設計不能이 되는것도 생각된다.

3) 다른 落石防護工과 똑같이 Rock shed의 設計에 있어서도 energy吸收能에 의거하여 設計하

기 위해서는 Rock shed의 여러가지 破壞形式, 吸收energy에 대하여 明白하게 하여갈 必要가 있다.

4) 景觀上 또는 施工上 Cushion材로서 Sand cushion 以外の 것을 使用할 경우도 있기 때문에 이와같은 경우의 衝擊力評價에 대하여도 다시 研究가 必要할 것이다.

7. 防護工의 設計

(1) 荷重의 種類와 이들의 特性

2.에서 敍述한바와 같이 落石防護工에는 斜面의 狀況, 豫想되는 落石의 規模, 落下速度 等に 따라 各種의 것일 採用되고 있으나 여기에서는 Rock shed에 대하여 檢討하고 이것以外的 落石防護工에 대하여는 여기에서 記述하는 Rock shed의 設計法을 準用할 수 있는 것이라고 생각된다. Rock shed에는 前述한바와 같이 다만 落石만을 防護하는 것 외에 눈사태와 함께 落下하는 小規模의 落石을 防護하는 것, 土砂崩壞 및 落石을 防護하는 것 등이 있으나 여기에서는 比較的 많은 實績을 갖고 있는 落石 및 堆積土를 對象으로 한 Rock shed를 取扱하고 있다.

이미 記述한바와 같이 現在 Rock shed의 設計는 落石對策便覽에 의거하고 있다. 落石對策便覽에서는 死荷重, 土壓, 堆積土, 積雪, 崩土, 눈사태, 地震, 自動車衝突, 時空時的 荷重에서 各種의 組合을 생각하고 設計에 있어서는 이들의 組合中에서 害黨되는 것을 選擇하는 것으로 되어 있다. 여기에서 이들 荷重中 死荷重, 堆積土 및 落石에 대해서만 檢討를 行하기로 한다.

a) 死荷重

死荷重은 構造物에 常時 作用하고 있는 荷重으로 Rock Shed을 形成하고 있는 各種 構造材料 및 附屬 部材材料에 單位體積量을 考慮하여 求해지는 것과 緩衝材인 모래 등의 重量이다.

死荷重의 變動은 材料의 單位重量의 變動 및 材

料的體積 즉 構造物의 斷面치수의 變動 및 緩衝材의 두께의 變動에 起因하고 있고, 後者는 前者와 比較하여 多少 크다고는 생각되나, 다른 荷重의 變動과 比較하여 극히 적다.

b) 堆積土荷重

堆積土는 一般的으로 小規模의 崩落의 반복에 의하여 생긴다. 大規模의 崩落은 衝擊의 隨伴하여 그 荷重의 決定法은 不明한 點이 많으므로 落石對策便覽에서는 大規模의 崩落이 豫想될 경우에는 될수 있는 한 路線變更, Tunnel 등으로 對應하는 것을 권하고 있다.

堆積土는 堆積을 放置해 두면 安息角까지 堆積하게 된다. 設計에서는 安息角까지의 堆積을 認定하는 경우도 있으나, 그 角度를 輕減하여 崩落이 있을 경우에 어떤 一定 以上을 除去하기로 하고 있는 경우가 많다. 따라서 堆積土荷重의 變動은 崩落土의 單位體積重量, 다져짐의 정도, 安息角 및 堆積土의 除去方法에 依存하고 있고 상당히 큰 것이 豫想된다.

c) 落石荷重

落石荷重의 크기는 落石의 形狀, 크기, 落下速度, 緩衝材의 材質 및 두께 등에 의해 決定된다. 落石의 形狀 및 크기는 斜面의 調査에 의해 確定할 수 있으나 Rock shed에 到達할때에 落下位置 및 落下速度의 推定의 困難性에 대하여는 이미 既述한 바와 같다. 또한 緩衝材의 緩衝效果 및 그 두께의 影響 등에 대하여도 반드시 明確히 되어있다고는 할 수 없다. 다시 落石에 의한 衝擊力이 緩衝材中을 어떻게 傳達하고 分散되는가도 아직까지 不明한 點이 많다.

Rock shed의 設計를 支配하는 落石荷重은 다른 荷重과 比較하여 그 變動은 극히 크다고 하지 않을 수 없다.

(2) 設計法의 現況

前述한바와 같이 現在 Rock shed의 設計는 落

石對策變更에 의거하고 있다. 落石對策變更에는 「便覽의 內容은 결코 基準은 아니고 이 內容을 menu的으로 參考로 한다」는 것이 明記되어 있으나 現實은 「基準」的인 取扱으로 되어 있다.

落石對策便覽에서는 落石覆工의 設計는 許容應力法에 의하는 것이 適當하다고 되어 있고 許容應力度에 대하여는 基本的으로 道路橋의 경우에 準하는 것으로 하고있다. 즉 「道路橋 示方書」에 規定되어 있는 許容應力度를 使用하고 規定되어 있지않는 事項에 대하여는 「Concrete 標準示方書」 등이 參考가 된다고 되어있다.

다시 荷重의 組合에 대한 許容應力度의 割増率은 道路橋 示方書에 있어서의 地震時의 規定을 準用하고 있다.

道路橋에 있어서의 荷重, 許容應力, 荷重의 組合에 대한 許容應力의 割増 等に 대하여는 數 많은 研究가 이루어져서 그 成果가 反英되어 있으나 Rock shed에 있어서의 이것들에 관한 研究는 극히 적어 道路橋에 準한 取扱도 부득이한 面도 있으나 基本的으로는 Rock shed는 橋梁과는 다른 設計思想으로 設計되어야 할 性格의 構造物이라고 생각된다.

道路橋에 作用하는 荷重은 示方書의 規定뿐만 아니라 車輛制限令 등의 法令에 의한 制限値가 있다. 勿論 違反車輛의 存在도 無視할 수 없으나 그 變動은 限定된 範圍內에 있다고 생각해도 좋다. 다시 落石時의 許容應力度의 割増率을 道路橋示方書에서의 地震時의 規定에 準하여 決定하고 있는 것도 이것에 관한 研究가 거의 이루어져 있지 않은것에서 부득이한 面도 있으나 本質的으로는 落石荷重과 地震荷重은 서로 다른 取扱이 이루어져야할 性格의 것이다.

(3) 防護工의 破壞試驗

지금까지 著者 등은 몇개의 實物 Rock shed 및 實物 Rock shed 지붕部로의 落石實驗을 行하고 動的舉動의 測定을 行함과 함께 破壞實驗도 行하여

왔다. 그 결과 定性的이긴 하나 破壞荷重은 設計荷重보다 훨씬 큰 것을 알았다.

(4) 合理的 設計法으로의 試圖

a) 限界狀態 設計法

Rock shed에는 一般的으로 鋼製, PC(Prestressed Concrete)製 및 RC(鐵筋 Concrete)製의 것이 있으나 여기에선느 PC製 및 RC製의 것에 대하여 敘述한다. 鋼製의 것에 대하여는 PC製 및 RC製의 것과 똑같이 생각할 수 있다.

1986년에 土木學會 Concrete 標準示方書(以下 Concrete 示方書라고 말하기로 함)가 大改訂되어 限界狀態 設計法이 採用되었다. 이것을 받아서 道路橋 示方書 等 具體的인 構造物에 限界狀態 設計法을 適用하려고 多方面에서 精力的인 檢討가 行하여 지고 있다.

Concrete示方書에 있어서는 限界狀態로서 終極 限界狀態, 使用限界狀態 및 疲勞限界狀態로 區分하고 있으나 Rock shed에 있어서는 疲勞限界狀態에 대하여 檢討할 必要가 없고 終極限界狀態 및 使用限界狀態의 2가지에 대하여 檢討하기로 하고 이들의 內容에 대해서는 뒤에 記述한다.

前述한바와 같이 荷重에는 變動이 있으므로 設計에 있어 考慮할 荷重으로서 Concrete示方書에서는 荷重의 「特性值」를 使用하는 것을 假想하고 있다. 다시 終極限界狀態에 使用하는 荷重의 特性值는 「荷重值의 흐트러짐을 考慮한후 構造物의 施工工 및 耐用期間中에 생기는 最大 또는 最小荷重의 期待值」로 하고 使用限界狀態의 檢討에 使用하는 荷重의 特性值는 「構造物의 耐用期間中에 比較的 종종 생기는 크기의 것」이라고 定義되어 있다.

限界狀態設計法에서 使用하는 設計荷重 F_d 는 荷重算定의 不正確度, 荷重의 誤差가 限界狀態에 미치는 影響의 정도 等を 考慮한 荷重係數 γ_1 와 同時에 作用하는 荷重의 生起確率을 考慮한 荷重組合係

數 φ (≤ 1.0)와를 荷重의 特性值 F_k 에 곱해 구하여지는 것이다.

$$F_d = \sum \gamma_i \cdot \varphi \cdot F_k \dots\dots\dots (2)$$

設計荷重 F_d 를 使用하여 構造物의 解析을 行하고 作用斷面力을 S 등으로 算定하나 構造物 解析 model의 不正確度, 解析에 假定 等に 의한 誤差 等を 考慮하는 構造物 解析係數 γ_s 를 곱한 S_d 를 設計用의 斷面力으로 한다.

$$S_d = \gamma_s \cdot S(\sum \gamma_i \cdot \varphi_k) \dots\dots\dots (3)$$

한편 斷面耐力 等の 抵抗值는 R_d 는 다음과 같이 算定된다.

材料強度의 特性值는 f_k 는 試驗值의 變動을 假想한 後 大部分의 試驗值가 그 值를 下廻하지 않도록 設定된다.

材料의 特性值 f_k 의 決定에 있어서 不確實性 및 材料強度의 不確實性이 限界狀態에 미치는 影響의 정도를 考慮하기 위하여 f_k 를 材料係數 γ_m 으로 나누어 材料의 設計強度 f_d 를 定한다. 設計強度 f_d 를 使用하여 斷面의 耐力 등으로 抵抗值를 算定하나 耐力算定式의 不確實性, 施工誤差, 部材의 重要度, 破壞狀態를 cover하기 위한 部材係數 γ_b 가 使用된다.

$$R_d = R(f_k/\gamma_m)\gamma_b \dots\dots\dots (4)$$

이와같이 하여 算定된 作用值와 抵抗值가 다음式을 滿足하면 構造物의 安全性이 保證된다.

$$R_d/S_d \geq \gamma_i \dots\dots\dots (5)$$

여기에서 γ_i 는 構造物의 重要度 또는 限界狀態에 달했을때의 社會的 影響의 정도를 考慮하기 위한 構造物係數이다.

b) Rock shed의 限界狀態

concrete示方書에는 使用限界狀態 및 終極限界

狀態에 대한 몇가지의 예를 들고 있다. Rock shed의 使用限界狀態 및 終極限界狀態에 대하여 檢討하여 본다.

使用限界狀態-여기에서 檢討하고 있는 Rock shed의 使用限界狀態에는 2가지의 狀態가 생각된다. 第1은 龜裂의 使用限界狀態로 龜裂에 의해 美觀을 害치던지, 耐久性 또는 水密性이 損傷되는 狀態이고 第2는 損傷의 使用限界狀態로 Rock shed에 各種의 原因에 의한 損傷이 생겨 그대로 使用하는 것이 不適當하게 되는 狀態가 생각된다. 이것에 대한 荷重으로서의 堆積土가 比較的 적은 期間中에 落石이 종종 생길 경우에 대한 것 또는 堆積土가 充分히 堆積한 狀態 또는 堆積土가 堆積하고 그 위에 落石이 종종 생길 경우에 대하는 것 등이 생각된다.

終極限界狀態-Rock shed의 終極限界狀態로서는 部材의 斷面に 破壞가 생기는 狀態라고 생각된다. 但 部材의 斷面の 破壞에 의해 Concrete의 破片이 落下하고 通行車輛 등에 被害가 생기지 않는 範圍의 破壞라고 생각하지 않으면 안된다. 이 정도의 斷面の 破壞에 있어서는 車輛限界를 넘는 것 같은 큰 變位, 變形은 생기지 않는다. 勿論 剛體로서의 安定性은 保持되어 있는 것으로 한다. 不靜定構造物인 경우에 mechanism으로 移行하는 정도의 큰 部材斷面の 變形은 Concrete의 破片의 落下 등의 可能性이 있고 Rock shed의 終極限界狀態로서 바람직하지 않다.

終極限界狀態에 대한 荷重으로서의 Rock shed의 耐用期間中에 생각되는 最大의 落石(現時點에서는 落下되는 일은 없으나 將來 落下할 可能性이 있는 岩石) 荷重 또는 堆積土荷重과 落石荷重 또는 地震荷重의 組合 및 그들 모두의 組合 등이 생각된다.

c) 荷重의 組合과 安全係數

本 研究에서 對象으로 하고 있는 Rock shed에 있어서는 落石對策便覽에서는 荷重의 組合을 齊唱하고 있다. 이 中 落石과 堆積土는 同時에 作用시키지 않는 것으로 되어 있다. 이것은 「堆積土가 100% 堆積된 위에 落石이 있어도 그 衝擊力은 상당히 輕減되고 또한 堆積土 中을 荷重이 分散되는 것이 期待되기 때문이다」라고 되어 있다. 그러나 실제로는 構造가 堆積土만으로 決定되는 경우도 있고 이 경우에는 반드시 危險側이 된다. 또한 堆積土에 의해 構造物의 固有 周期가 變化하고 작은 落石에 의해서도 큰 振動이 發生할 可能性도 있다.

地震時의 檢討에 있어서는 堆積土를 100% 考慮하는 것으로 되어 있으나 現實으로는 現行設計法에서는 限界狀態設計法에 있어서는 荷重係數 및 荷重의 組合係數를 모두 1.0으로 잡고 있고 許容應力度의 割増만으로 同時에 作用하는 荷重의 不確實性을 cover하려고 하고 있는 것에 起因하고 있다. 前述한바와 같이 限界狀態設計에서는 다음과 같은 荷重의 組合을 생각하면 充分하다고 생각된다.

○ 使用限界狀態

- (1) 死荷重 + 常時 落石荷重
- (2) 死荷重 + 堆積土荷重
- (3) 死荷重 + 堆積土荷重 + 常時 落石荷重

○ 終極限界狀態

- (1) 死荷重 + 最大落石荷重
- (2) 死荷重 + 堆積土荷重 + 最大落石荷重

(3) 死荷重 + 堆積土荷重 + 地震荷重

여기에서 落石荷重을 常時落石荷重과 最大落石荷重으로 分類되었다. 이미 敍述한 바와 같이 常時落石荷重이란 가끔 落下하는 落石에 대한 것이고 最大落石荷重이란 現在는 落下의 可能性이 적으나 Rock shed의 耐用期間中에 落下할 可能性이 있는 比較的 큰 落石에 대한 것이다.

Rock shed의 限界狀態設計에 있어서는 材料係

數, 部材係數, 構造物 解析係數 및 構造物係數는 Concrete示方書에 表示되는 標準의인 安全係數를 採用하면 좋다고 생각되나 荷重組合係數는 同時에 作用하는 荷重의 生起確率 等を 考慮하여 定할 必要가 있다.

荷重係數는 4.에서 記述한바와 같이 荷重의 變動, 荷重의 算出方法의 不確實性, 荷重特性이 限界狀態에 미치는 影響 等を 考慮하여 決定할 必要가 있다.

限界狀態確率에 의거한 荷重의 組合係數 및 荷重係數의 決定法으로서 몇가지의 方法이 提案되어 있으나 現行의 設計에 整合시키면서 均一한 信賴性을 確保하는 것 같은 荷重係數의 組合을 算定하는 Calibration法이 있다. 前述한 使用限界狀態에서의 荷重의 組合(1)에 대하여 Calibration法에 의한 落石의 荷重係數로서 1.8이 適當하다고 하는 計算 結果도 보인다.

d) Rock shed의 設計

지금까지의 檢討로부터 아래에 表示하는 手法에 의한 Rock shed의 設計法이 要望된다고 생각된다. 2.에 記述한 順序에 따라 說明한다. 調査-斜面에 存在하는 岩塊中 落下할 可能性이 큰것에 대하여 重量, 形狀, 位置 等を 調査한다. 또한 금방은 落下하지 않으나 將來 落下가 豫想되는 岩塊에 대하여도 똑같은 調査를 行한다.

Simulation-比較的 頻繁하게 落下가 豫想되는 岩塊 및 將來 생각되는 큰 岩塊에 대하여 落下의 Simulation을 行하고 Rock shed에 到達할때의 速度 및 位置의 分布를 求한다. 落石의 速度로부터 求하는 推定衝擊力의 不確實性 및 落下速度의 不確實性으로부터 荷重의 特性值 F_k 및 荷重係數 r_1 를 設定한다. 또한 落下位置의 推定의 不確實性을 考慮하여 構造解析係數 r_2 를 設定한다.

終極限界狀態의 檢討-荷重의 生起確率에 따라

許容할 수 있는 損傷限度를 設定한다. 예를들면 生起확률이 比較的 큰 荷重에 대해서는 거의 補修를 必要로 하지 않는 輕微한 損傷정도의 若干의 龜裂까지를, 生起確率が 극히 작은 荷重에 대해서는 崩壞(人命의 損失의 可能性이 있는)는 避할수 있으나 龜裂이 顯著하고 剝落이 發生하는 것 같은 再使用 不能의 損傷은 許容하는 等の 檢討가 必要하다.

構造上의 檢討-剪斷에 의한 脆性(부서지기 쉬운)의인 破壞를 避하기 위하여 剪斷에 대한 安全度를 휩에 대한 安全度보다 크게 잡는다. 또한 急激한 破壞를 防止하기 위하여 構造上의 塑性hinge가 形成되는 部分에는 充分한 韌性(그의 一部를 分離하려고 하는 힘에 抵抗하는 固體의 性質)을 갖게하는 等の 配慮가 必要하다. 다시 構造物이 塑性變形性能을 發揮하여 損傷이 假想한 損傷 以內로 같아 않도록 예를들면 시아스팬比를 크게 잡는다. 軸方向 鐵筋比를 작게한다. 軸方向 壓縮應力比를 작게한다. Stirrup比, 帶鐵筋比를 크게 하는 等の 構造物 細目에 대하여 充分한 檢討가 必要하다.

8. 맺는말

本 報告에서는 國外에 있어서의 Snow 및 Rock shed에 관한 情報를 筆者가 알고있는 한 報告하였다. 이들 情報로부터 Snow 및 Rock shed는 諸外國에 있어서는 극히 特殊한 構造物이고 橋梁과 똑같이 多方面에서 使用되고 더구나 重要한 構造物로 되어있는 것은 日本 特有의 것이다. 日本에서는 매우 重要하게 되었던 이들 構造物에 대하여 보다 많은 사람들이 關心을 갖고 이 方面의 研究를 充實하게 하여 橋梁과 똑같은 成果를 얻는것을 期待하는 것이다.