

인도네시아의 내진구조물설계에 대하여

柳 基 松* 李 相 益**

I. 序 論

인도네시아는 國土面積이 約 280萬km²로서 크고 작은 數千餘個의 섬 으로 構成되어 있으며 北緯 6도와 南緯 11度 및 東經 95도와 140度 사이에 散在되어 있다. 이 인도네시아 群島는 活動性火山이 177個로 世界의 어느 地域보다도 가장 많고 또한 그 集中度가 높으며 이들은 地殼의 變形에 의한 龜裂을 따라서 散在되어 있는데 언제 爆發할지 모르는 實情에 있다. 따라서 인도네시아는 火山活動이 가장 頻繁한 地域인 同時에 또한 地震發生回數도 많아 年中發生回數는 400餘회에 달하며 이중 10回程度는 強度가 相當히 크고 3回程度는 그 威力이 大端하여 財産의 被害가 많다. 따라서 地震被害를 줄이려고 인도네시아政府에서는 最小의 費用으로 地震의 破壞力에 견딜 수 있는 適切한 設計方法을 開發하기 위하여 地震觀測所를 各地에 設置, 觀測을 하여 研究를 繼續하고 있는데 本稿에서는 一般의 耐震設計法을 簡單히 說明하고 인도네시아에서 現在 適用하고 있는 耐震設計에 대하여 紹介하고자 한다.

II. 耐震設計法の 種類

耐震設計法에는 震度法, 修正震度法, 地震應答法 및 應答變位法이 있다. 여기서 震度法

은 不規則한 震動인 地震을 地震力으로 置換하여 構造物의 安定解析을 하는 方法이다. 이때 地震力은 構造物의 中心에 作用하는 것으로 하며 構造物에 따라 地震力을 水平成分과 鉛直成分으로 나누어 設計를 한다. 이 方法은 地震時 構造物의 安定이나 部材의 應力解析이 平常時의 計算과 거의 같고 解析方法도 簡單하여 構造物의 耐震設計에 많이 利用되고 있는데 水平地震力은 式(1)으로 구한다.

$$F_h = K_h W \dots \dots \dots (1)$$

여기서, F_h : 水平地震力(t_f)

K_h : 水平設計震度(地震係數)

W : 構造物의 自重(t_f)

이때 鉛直地震力은 一般의 水平地震力의 半을 취하며, 震度法에 대한 原理를 例를 들어 說明하면 다음과 같다. 即, 그림.1과 같은

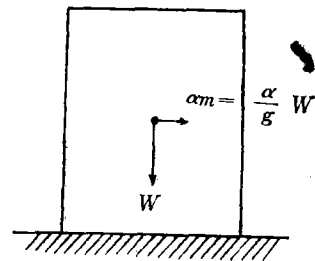


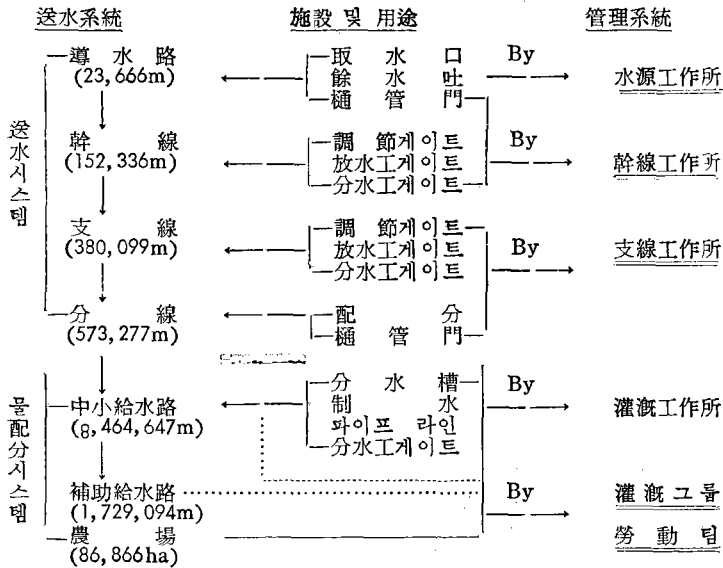
그림. 1. 剛體에 作用하는 慣性力

剛地盤上에 있는 剛構造物의 경우 地盤이 地震에 의하여 加速度 α 로 運動할때 構造物의 質量을 m 으로 하면 構造物에 作用하는 慣性力은 am 이 된다. 여기서 慣性力을 地震力으로 보면 式(1)은 다음과 같이 式(2)으로 나타낼 수 있다.

* 農業振興公社 海外部

** 인도네시아 시말룬군地區用役團

表 17. 台灣嘉南平原 水源에서의 물의 放流와 灌溉管理



資料 : 1981.5. 日本農業土木學會誌 49(5) p.67

우리나라의 農地改良組合과 같은 이 水利會의 組織과 灌溉管理系統의 特徵은 水源管理事務所와 灌溉管理事務所가 組織안에 區分되어 있고 灌溉管理系統이 送水시스템과 物配分시스템으로 分離되어 系統의인 管理에 임하고 있다는 점이다.

우리나라의 경우 水源管理는 비교적 制口實을 하고 있다 하겠으나 送水過程에 있어 系統의인 管理에는 距離가 멀다. 近代의인 營農, 科學的인 營農, 商業的인 營農에는 물, 管理의 現代化가 必須的이다. 計測裝置를 비롯하여 傳送裝置, 記錄裝置, 表示裝置, 情報處理裝置, 遠隔操作裝置, 自動制禦裝置, 除塵裝置 등의 管理施設과 電算處理에 의한 물管理體系에 대한 研究가 今後의 課題이다. 幹線, 支線別 및 支配面積 單位的 記號化 즉 現在의 ○○幹線, ○○支線 등 地名中心의 區分을 記號化하는 동시에 이에 의한 給水對象地도 一連番號에 의해 耕地整理時의 換地處分 過程에서 새로히 01-21-31등으로 (幹線-支線-地番)

地番을 設定하는 등 電算化時代에 對備한 研究開發도 지금부터 準備되어야 한다. 또 送水過程에서의 管理損失을 억제하기 위한 措置로서의 構造物化, 파이프라인化 등이 施設物의 技術診斷을 통해 강구되어야 할 戰略이다.

셋째, 生産體系의 再編을 前提로 한 排水系統의 再整備이다. 이는 現存 排水시스템(논의 경우 水稻作에 있어 地區內의 10年頻度 確率豪雨에 대해 30cm, 24時間의 冠水許容)은 生産再編에 따라 冠水가 許容되지 않는 田作物栽培時의 過剩水의 排除와 함께 環境汚染에 대한 保全的인 側面에서의 下水處理 등을 감안한 廣域의 排水體系로 轉換 整備되어야 한다.

排水系統의 整備는 비단 農土만에 局限되는 것은 아니며 地域社會 全體의 防災에 관계되는 것으로서 用水系統網보다 어렵고도 많은 投資를 要하는 部分이다. 上流部에서의 耕地整理가 때로는 下流部에 대한 排水改惡으로 되는 수도 있음은 곧 排水의 어려움에서 오는 結果라 하겠다.

$$F_h = am = \frac{\alpha}{g} W \dots \dots \dots (2)$$

여기서, F_h ; 水平地震力(t_f)
 α ; 地盤加速度(cm/sec²)
 m ; 構造物의 質量(t)
 g ; 重力加速度(cm/sec²)
 W ; 構造物의 自重(t_f)

式(2)에서 α/g 를 設計震度(地震係數)로 보면 式(1)과 式(2)은 一致한다고 볼 수 있다. 따라서 剛地盤上의 剛構造物에 대해서는 最大地震加速度와 重力加速度的 比가 設計震度(地震係數)에 該當한다고 볼 수 있다. 그러나 實際로는 地震으로 인하여 構造物과 地盤 사이에 無視할 수 없는 相對的인 變位가 생기므로 構造物의 加速度는 地盤의 加速度와 一致하지 않기 때문에 前述한 設計震度(地震係數)와 地震의 關係는 滿足스럽지 못하다. 한편 修正震度法은 構造物 및 地盤의 震動形態에 따라 設計震度(地震係數)를 修正하여 耐震設計를 하는 方法인데 震度法과 같이 計算이 簡單하고 構造物의 影響을 設計에 反映할 수 있다. 地震應答解析法은 構造物과 地盤을 一體로 하여 地震應答를 구하고 그 結果를 土臺로 하여 地震에 대한 安定을 檢討하는 方法인데 計算이 複雜하기 때문에 컴퓨터를 使用해야 한다. 應答變位法은 埋設파이프라인이나 水浸埋設터널과 같이 檢보기單位重量이나 剛性이 比較的인 地中構造物의 境遇에 構造物의 存在가 地盤의 震動에 거의 影響을 주지 않기 때문에 地盤만의 應答解析으로 地盤中の 變位分布를 구하고 構造物의 變位는 地盤과 같은 것으로 보다 耐震設計를 하는 方法이다.

Ⅲ. 인도네시아의 耐震設計

인도네시아에서의 耐震設計는 1964년까지는 여러 都市에서 自體의 基準을 만들어 耐震設計를 하였으나 그후 인도네시아標準委員會에서 荷重示方書를 만들어 地震에 關한 事項을 規定하였는바 地震은 水平과 鉛直方向으로 構造物에 影響을 주고 鉛直地震力은 기둥과 같은 軸力을 받는 部材, 보, 내다지보, 이와 類

似한 建物の 部材, 램 및 橋梁等과 같은 特定 構造物의 設計時에 適用하고 水平 및 鉛直地震力은 同時에 作用하지 않는 것으로 보도록 明示하였다. 따라서 各種 規定에 의한 耐震設計時 地震力計算方法에 대하여 說明하면 다음과 같다.

1. 農業土木構造物

主要農業土木構造物에 대한 耐震設計時의 地震力은 建設省傘下 研究所DPMA(Direktorat Penyelidikan Masalah Air)에서 分析한 結果(冊子로 發行하지 않고 公文으로 水利廳에 通報함)에 따라 地震地域, 土質 및 地震頻度を 考慮하여 다음과 같이 計算한다.

가. 地域係數

農業土木分野에서는 인도네시아의 地震地域을 그림. 2와 같이 5個地域으로 區分하였으며 이에 따른 地域係數는 表-1과 같다.

表-1. 地域係數

區 分	地 震 地 域				
	I	II	III	IV	V
地域係數, Z	2.78	2.11	1.56	1.00	0.56

나. 土質係數

인도네시아의 土質을 4種으로 大分하였으며 이에 따른 土質係數는 表-2와 같다.

表-2. 土質係數

區 分	土 質 係 數	
	b_1	b_2
岩	2.76	0.71
洪 積 土	0.87	1.05
沖 積 土	1.56	0.89
軟弱沖積土	0.29	1.32

다. 基本地震加速度

基本地震加速度는 地震發生頻도에 따라 表-3에서 구한다.

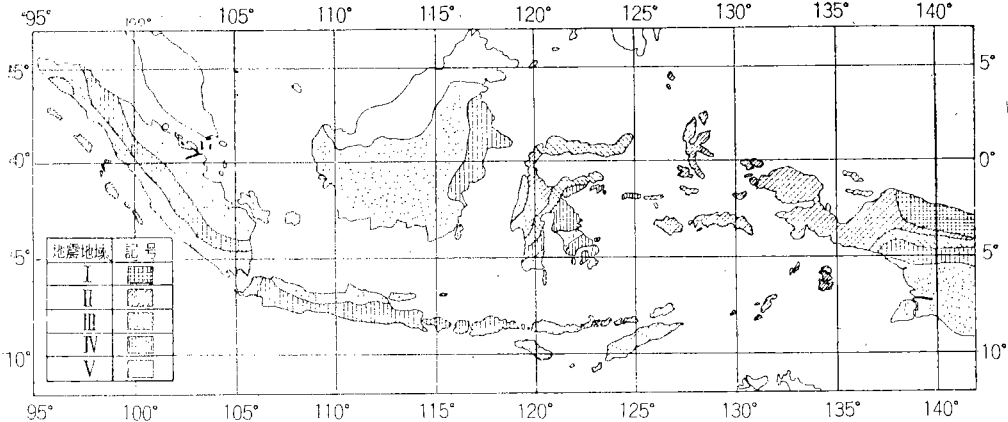


그림. 2. 地震地域區分圖(1)

表-3. 基本地震加速度

區 分	地震發生頻度(年)			
	20	100	500	1000
基本地震加速, A_c	85	160	225	275

라. 地震係數

地震係數는 地域係數, 土質係數 및 基本加速度를 式(3), (4)에 代入하여 구한다.

$$Ad = b_1(AcZ)^{b_2} \dots\dots\dots(3)$$

$$K_h = Ad/g \dots\dots\dots(4)$$

여기서, Ad ; 設計地震加速度(cm/sec²)

b_1, b_2 ; 土質係數(表-2參照)

Ac ; 基本地震加速度(cm/sec²) (表-3參照)

Z ; 地域係數(表-1 및 그림. 2 參照)

K_h ; 水平地震係數

g ; 重力加速度(980cm/sec²)

마. 地震力

耐震設計時 地震力은 構造物自重에 地震係數를 곱하여 式(5)과 같이 구한다.

$$F_h = K_h W \dots\dots\dots(5)$$

여기서, F_h ; 水平地震力(t_f)

K_h ; 水平地震係數

W ; 構造物의 自重(t_f)

2. 建 物

建物에 대한 耐震設計時 地震力은 建設省傘

下 研究所 DPMB(Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan)에서 發行한 인도네시아 荷重示方書(Peraturan Muatan Indonesia)에 따라서 建物高, 地震地域 및 土質을 考慮하여 計算하는데 이를 簡單히 說明하면 다음과 같다.

가. 建物高係數

建物높이에 의한 建物高係數는 表-4와 같으며 이의 分布形態를 說明하면 다음과 같다. 높이 10m 以下의 建物에 作用하는 建物高係數는 0.1로 하며 建物全體에 均等히 作用하는 것으로 본다. 建物높이가 10-40m인 경우의 建物高係數는 式(6), (7), (8), (9)으로 구하며 이값을 그림. 3과 같이 建物높이 H 에 대하여 0.6H까지는 均等分配, 0.6H以上은 사다리꼴로 分配한다.

表-4. 建物高係數

區 分	建 物 高 (H)		
	10m以下	10~40m	40m以上
建物高係數(K_i)	0.10	(6), (7), (8) 및 (9) 式 參照	動的分析 必要

$$K_{hb} = \frac{1}{10+0.1H} \dots\dots\dots(6)$$

$$K_{ht} = (1+0.05H)K_{hb} \dots\dots\dots(7)$$

$$hi < 0.6H \text{인 경우}; K_i = K_{hb} \dots\dots\dots(8)$$

$$0.6H < hi < H \text{인 경우}; K_j = K_{hb}(1+0.125hi-0.075H) \dots\dots\dots(9)$$

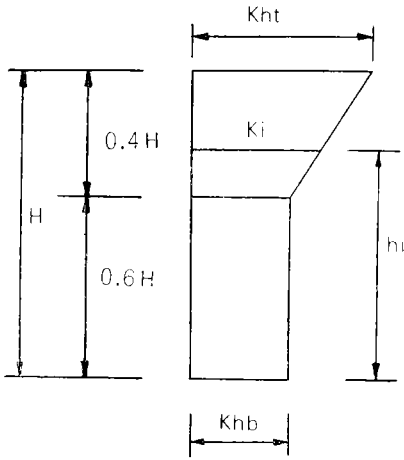


그림. 3. 建物높이에 따른 建物高係數分布圖

여기서,

K_{hb} ; 建物底部의 建物高係數

H ; 建物の 높이(m)

K_{ht} ; 建物頂部の 建物高係數

K_i ; 建物 任意의 높이에 대한 水平建物高係數

h_i ; 建物 任意의 높이(m)

한편 높이가 40m以上인 建物は 動的分析을 해야 하며 建物部位 및 特殊建物에 따른 建物高係數는 表-5 및 表-6과 같다.

나. 地域係數

地域係數는 建物設置地域에 따라 그림. 4 및 表-7로부터 구한다.

表-5. 建物部位에 따른 建物高係數

建物部位	힘의方向	建物高係數
(1) 壁	水平	$2K_i$
(2) 建物에 連結 또는 建物の一部分인 塔, 굴뚝 및 屋上建物		
(3) 建物에 支持되지 않은 別途의 물탱크		
擁壁을 除外한 내다지보벽	水平	$5K_i$
발코니와 같은 내다지보形態의 部材	鉛直	

表-6. 特殊建物の 建物高係數

建物	建物高係數
病院, 食糧倉庫, 變電所, 給水施設等	$1.5K_i$
記念館	$2.0K_i$
核發電所	$3.0K_i$

表-7. 地域係數

地震地域	I	II	III
地域係數, K_d	0.25	0.50	1.00

表-8. 土質係數(K_s)

土質狀態	建物形式				
	支耐力(kgf/cm ²)	鐵骨造	鐵筋콘크리트造	木造	石造
堅固	5	0.6	0.8	0.6	1.0
普通	2-5	0.8	0.9	0.8	1.0
軟弱	0.5-2	1.0	1.0	1.0	1.0
매우軟弱	0-0.5	1.0	1.0	1.0	1.0

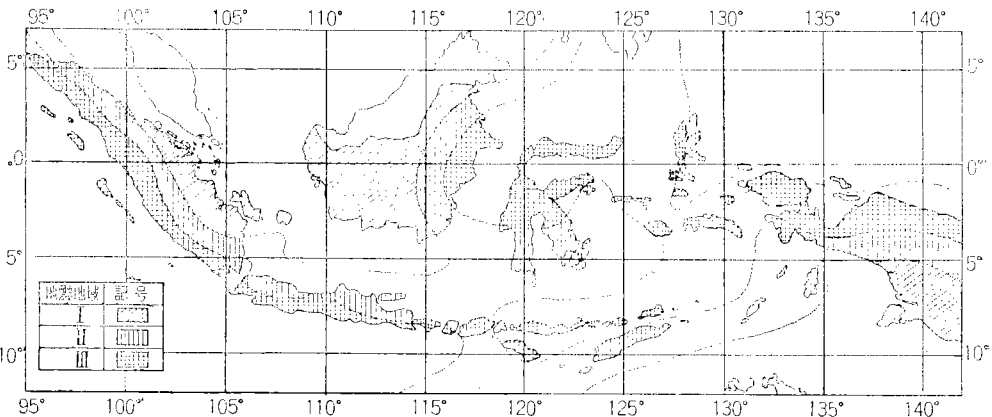


그림. 4. 地震地域區分圖 (2)

다. 土質係數

土質係數는 建物設置位置의 土質과 建物形式에 따라 表-8에 의하여 구한다.

라. 地震係數

地震係數는 建物高係數, 地域係數 및 土質係數를 곱하여 式(10)과 같이 구한다.

$$K_h = K_i K_d K_t \dots\dots\dots(10)$$

여기서, K_h : 水平地震係數

K_i : 建物高係數

K_d : 地域係數

K_t : 土質係數

마. 地震力

建物높이 H 에 作用하는 地震力은 建物自重에 地震係數를 곱하여 式(11)과 같이 구한다.

$$F_h = K_h W \dots\dots\dots(11)$$

여기서, F_h : 水平地震力(t_f)

K_h : 水平地震係數

W : 建物의 自重(t_f)

3. 橋梁

主要 道路橋梁의 耐震設計는 建設省道路廳에서 發行한 橋梁荷重示方書(Peraturan Muatan Untuk Jembatan Jalan Raya)에 따라서 設計를 하는데 앞서 說明한 震度法으로 土質 및 地震地域에 따라 表-9 및 그림. 4를 利用하여 地震係數를 구하고 式(12)으로 地震力을 計算한다.

$$F_h = K_h W \dots\dots\dots(12)$$

여기서, F_h : 水平地震力(t_f)

K_h : 水平地震係數

W : 橋梁의 自重(t_f)

IV. 結 論

表-9. 水平地震係數(kh)

土質 및 基礎條件	地 域 區 分		
	I	II	III
支耐力 5kgf/cm ² 以上인 地盤上的 直接基礎	0.12	0.06	0.03
支耐力 5kgf/cm ² 以下인 地盤上的 直接基礎	0.20	0.10	0.05
直接基礎를 除外한 橋梁	0.28	0.14	0.07

지금까지 인도네시아에서 適用하고 있는 構造의 耐震設計를 위한 地震力計算方法에 대하여 說明을 하였다. 一般的으로 構造物의 耐震設計는 주어진 地震條件을 가지고 構造物의 安定計算을 하여 地震時에 큰 被害를 입지 않도록 하는 것인데 構造物에 대하여 어느 程度로 耐震設計를 해야 하는가는 決定하기 쉬운 일이 아니다. 特히 開發途上國에서는 經濟開發에 投資할 資本에 限界가 있어 適切한 地震係數를 設定하여 設計하지 않으면 안된다. 왜냐하면 豫想地震強度를 너무 높게 假定하여 構造物을 設計하면 工事費過多로 非經濟的이며, 너무 낮게 假定하면 地震時에 構造物이 破壞되어 所期의 目的을 達成할 수 없고 아울러 人命과 財産의 損失을 招來하게 되기 때문이다. 우리나라도 忠南 洪성에서 地震이 發生하여 輕微한 被害를 입은 적이 있으며, 대청댐等의 構造物設計에 地震力을 反映한 바도 있으므로 農業土木構造物을 中心으로 인도네시아의 耐震構造物設計에 대하여 紹介를 하였는데 多少나마 도움이 된다면 다행이라 생각한다.