

である、従つて歐米の路政は新開地の道路は新開地經營者建築者土地所有者の負擔を以て新設せしめ、公共團體は唯之が規格及要件を定めて規準するに止まるのである、第四我國の路政及法制は街路の土木技術の見地を主眼とし其の社會上經濟上の見地に意を用ること十分でない、例へば市街地の沿道建築敷地の利用關係を顧慮することが足りない、第五市街地に於ける街路計畫更に進んで市街地と附近市街地郊外町村との路線計畫は都市計畫又はリージョナル・プランニングとして綜合統一して施設せられる大勢に對して、道路を單に交通

耐震に就て

内務技師
工學博士
物部長穂

一 緒 言

大震後一周年の今日に於て耐震問題を論ずるは蓋し時を得たものと思ふ。

我が邦で耐震と云ふ事に着目したのは明治二十四年の濃尾大震災の後であるが震災地は概ね農村であつたのと萬般の人工設備が未だ今の如く歐化して居らなかつたので日本家屋を除いては工作物耐震の研究に對して餘り重要な資料を遺さなかつたのである然るに獨り鐵道のみは當時既に歐米の工法を路襲して萬般の設備を整へて居つたので甚大なる震害を被り其

施設として見るに止まり、都市計畫行政との調和點に於て意を用ること十分でない、道路管理職員制の東京道路評議會の如き都市計畫委員會の外に何の必要ありや殆ど辨明の餘地がない、之を要するに我國の路政及法制は市街地の道路に對する眼界狹隘固陋であつて社會的經濟的機能の全部を觀念するに於て缺ぐる所多きは掩ふべからざる事實であるかと思はれる、敢て路政の確立に努力せられた人々や路政當局者の一考を促したい。(一三、八、一五)

惨状は最も人目を集中せしめたのであるが一方洋風工作物の耐震法と云ふ事に對して多大の教訓を遺したのである。あの地盤の悪い木曾樺美長良等の大河川に數百間の長橋を架設したる擔當技術者の苦心を想へば洵に驚嘆に値するものであるが當時地盤の悪い所に鐵橋を架するには橋脚に鑑鐵の螺旋杭又は煉瓦井筒などを用ひたので今日の工法に比すれば餘程簡易な構造で工費も著しく少なかつたのであるから非常な震害を被つたのも亦止むを得ぬ次第である。然るに此等前車の覆轍に鑑みて充分の研究を積み而も多大の工費を投じて架設した所の鐵道道路等の橋梁が昨年の大地震に遭遇した結果は如何であつたらうか、種々事情の異なる所を參照し公平なる立

場に立つて比較して見て耐震上幾何の進歩を認め得るだらうか、少くとも工費増加の割合には耐震力は増して居らぬと云はねばならぬ様に思ふ。然らば即ち耐震技術としては寧ろ退歩したと云はなければならぬ。其責任は勿論吾人技術者に存するのであるがこの構造學上の問題たる耐震と云ふ事を構造の性質に無關心なる地震學者に委したと云ふ事が抑もゝの過りであつたと思ふ。濃尾大震後の耐震法の發達否變遷を見ると螺旋杭は挫折するから用ひるぬ方がよい、井筒は其上部連結が破壊するから連結せぬが宜しいと云ふ様に著しい震害

斯様な次第で昨年の大震に遭遇した當時一般技術者の耐震學上の素養は濃尾大震の場合と殆んど逕庭がないと云ふ事が出來る、而も復舊工事を急ぐ關係上當事者は改めて耐震問題を深く考察するの餘暇を全々與へられぬので出來上つたもの多くは將來大震の襲來に當り如實の試練に依て初めて其耐震力の如何が定まる次第である、斯く如き有様では耐震問題の根本的解決は到底不可能であつて國民は永遠に震災の脅威から免るゝ事が出來ないのである。然らばこれに對して技術家が如何なる方針を探るべきかと云ふとそれは泰平無事の日

に一致共力耐震問題を徹底的に研究する事であつて數年ならずして大震の惨害を忘れ又耐震の如きは地震學者か閑人の仕事であると拋擲する様な事は絶対に相戒めなければならぬ。耐震と云ふ事は重要ではあるが如何なる工作物に對しても絶對耐震一點張りで行くと云ふ事は國家經濟上ゆき問題である、要は工作物の震害に依て住民の生活に及す影響の如何と耐震の爲めに増加する工費の多寡とに依て耐震力の程度に差等を附する必要がある、例へば日本家屋以外の建築物とか、重要な鐵道道路の工作物とか河川の堤防水道、發電設備とか云ふものは出來得べくんば絶對耐震でありたいが經濟上の目的から設置される所の工場其他の工作物に於には人命に係らざる限り多大の工費を費して迄も耐震的ならしむる必要はないと思ふ之れは數十年、百數十年に一回而も起るか否か不明なる所の地震に對して多大の資本を固定するよりは寧ろ破壊された時に新規に再建した方が利益であると云ふ場合がいくらもあるからである、又鐵道に於ては如何なる部分の破壊も直ちに全線の運轉を中斷せしむるのであるから凡ての工作物は絶對耐震を必要とするが道路にありては多少事情が異つて居る、例へば其盛土の如きものはよしや地震の爲めに多少の沈下、地割、法面の崩潰等を生じても交通を全々吐絶

せしむる如き場合は稀であり且又一時吐絶しても車馬の通行に支障ない程度の修理は容易である、然るに切取に於ては餘程趣が異つて居つて兩側の土砂が崩潰して路面を埋没せしむるに於ては其復舊は中々容易でない從て耐震上餘程注意をする事となる。

斯様な次第で耐震問題に關しては今後技術者の研究に待べきものが頗る大であるが私は以下に耐震學の現在に於て既に明かになつて居る事と尙未知の世界に取り残されて居る事とを順を追つて記述し關係技術家の努力を促したいと思ふ。

二 地震の強さ

工作物の耐震と云ふ事を考ぶるには先づ第一に其場所に將來襲来すべき大地震の強さを推定しなければならぬが其合理的の推定法に關しては一に今後地震學の進歩に期待するの外ないものであるが今日の必要に對しては先づ次の資料に依て定むる。

一、過去に於て遭遇せし大地震の回数及其強さ

- 一、大地震帶よりの距離
- 二、地質の硬軟

古來大地震として史上に傳へられて居るのは其最大震度

は多く○、三乃至○、四或はそれ以上である。今日大地震帶と認められて居る地域に當る所又はこれに極近くして居る所では將來震度○、三乃至○、四の地震に遭遇するものと見なければならぬ。同一地域内にても地質の硬軟に依て著しく震度に差等がある。從て軟弱な冲積層地に於て○、三乃至○四の地震を豫期する必要がある場合でも良好な地盤に於ては大體其半の震度を考慮すれば足りると見做されて居る。試に地震資料に依て本邦各國を屢々大地震に遭遇せし地域と其稀有なりし地方とに分類すれば大體次の如くなる。

(甲) 屢々大地震に遭遇せし地方

武藏、相模、伊豆、駿河、甲斐、遠江、三河、尾張、美濃、伊勢、近江、信濃、越後、陸前、陸中、羽前、羽後、大和、山城、河内、攝津、和泉、紀伊、上總、下總、安房、臺灣

(乙) 大地震稀有なる地方

(甲) 以外の諸國

然るに茲に注意を要するは古來信頼すべき地震計を以て震度○、一以上の地震を測定した事は一回もなかつたのであって地震計記録の最大なるものは昨年の大地震に際し地震學教室の今村式強震計の記録したもので其最强震度は僅かに○、

○八に過ぎぬ從て濃尾大地震及び關東大地震の最强震度○、四位と云ふのは全くの推定に過ぎぬので而も其推定は主として家屋の倒潰率に依つたもので此倒潰率と震度との關係は轉倒物體の幅と高さとの比に基いて居るのであるが物體の轉倒は水平、上下兩加速度の共同作用に依るものであるから幅と高さとの比を以て直ちに水平震度と見做すわけには行かぬ今式を以て此等の關係を現はせば、

$$\frac{\text{轉倒物體の幅}}{\text{同上の高さ}} = K = \frac{k}{1-k} = \frac{\text{水平震度}}{1-\text{鉛直震度}}$$

即ち地震學者が推定した所の震度は實は水平、上下兩作用の合成に依るKなるもので水平震度とは全々別物であるが上下動の弱い場合にはこれを水平震度kと見做しても大差ないが震央地方に於ては非常な誤差を生ずる。而て構造物に對する作用は水平動と上下動とで餘程性質が異つて居るので耐震學上はどうしてもKを水平、鉛直の兩震度に分解して知る必要があるが今日の場合は適當の方法がないので矢張りKを水平震度として計算する事とし今後地震學の進歩を鶴首して待つより外に途がないのである。

三 道 路

橋梁溝橋等の特殊工作物を除いて道路の震害と云へば多くは切取面の崩壊、盛土の沈下、地割、法崩れ及石垣の崩潰等であるが耐震技術から見ると要するに斜面の安定、軟地盤の支持力及び土圧の問題に歸着するのである。先づ斜面の安定から云ふと平時に於ては土砂の息角より若干緩なる勾配と爲し風雨の作用に對しては張芝、張石等を以て保護して居るのであるが地震の際はこの息角が水平、鉛直兩加速度の作用に依て激減するので斜面は容易に崩壊するこの關係を數式を以て現はせば

地震の場合の息角 = 平時の息角 - $\tan^{-1} K$

茲に K は(1)と同一の意味で水平、上下兩加速度の共同作用を表はす合震度である。ある砂礫層が平時四五度の息角を有するものとすれば合震度○、二の地震の場合は三三度半の傾斜を保ち得るもの○、四の震度に對しては二三度の傾斜即ち割五分の法を保ち得るに過ぎぬのである。昨年の大地震で艇々數里の間數百尺の大崩潰を爲したる伊豆東岸に於ては地質は龜裂に富める燧岩であつて八分位に切取つても其當時はさながら鐵壁の如く思はるゝがこの燧岩は非常に風化し易く加ふるに所在に火山灰が介在して居るので年月を閱するに從ひ息角が著しく減ずる、要するに山腹海岸等の絶壁は幾百

年の間の風雨地震等の作用に依つて自然の息角を形成して居るので更に之れを切取て道路を通すると云ふ事は余程無理な事であり極端に耐震を主張すれば箱根一帯には到底道路は通じ得ぬと云ふ事になる、此地方に於ては往時は凡て峠路を探つて絕對に谷路、崖路を避けて居つたと云ふ事であるが無抵抗主義の技術としては誠に當を得た方針であると思ふ近頃になつて車輛の交通が主となり從て坂路が非常に障碍となるので止むなく崖谷路を採用したのどあるが一朝事ある際忽ち交通吐絶となり鳥も通はぬ有様となる様では洵に心細い次第である國家百年の計として余程沈重に考慮すべき問題であると思ふ。

盛土は底面に於ける在來の地盤に依て支持されて居るがこそ有するものとすれば合震度○、二の地震の場合は三三度半の地盤の支持力は地震の加速度に依て著しく低減し盛土の重量を支ふる能はざるに到り遂に沈下を惹起するのであるが盛土をする様な所は何れ低地で地質の軟弱な所であるから大震の場合は免れ得ざる損害である、又沈下を起す様なる地點では必ず大小多數の地割を伴ふものであるがこれは主として地盤と盛土の間に起る滑動に起因するもので矢張地盤の軟弱な地下水の高い所に起り易いのである、斯様な次第で盛土の耐震と云ふ事も中々困難であるが緒言にも述べた様に其震害

はさして恐るべきものでなかから多額の工費を投じて絶対耐震と爲すの必要もあるまいと思ふ然し沼澤地や特に重要な地點では敷粗朶を爲すから、底面に剛杭を打つか又は他の有利な工法に依て相當の耐震法を講ずる必要があると思ふ、然るに鐵道に於ては盛土の沈下、地割、滑動等は非常に危険であつて其復舊も容易でないから余程研究を要する事と思ふ。

次に土壓の問題であるが地震の際は全般の土粒に水平、鉛直の加速度が週期的に作用するのでこれを合理的に解決するにはどうしてもブースネスクの粒體力學から發足して動力學的に解かねばならぬのであるがこれは平時に對しても非常に復雜した數學を用ゐなければならぬので週期的加速度の作用する場合は如何に困難な問題となるか殆んど想像も付かぬ次第であるが斯様な徹底的の解決は要するに純學術的の問題であつて石垣や橋臺の設計に使用する土壓の計算に於ては近似的の簡便法を用ひて一向差支がないと思ふ。この簡便法は地震の際に生ずる最も不利な情況が繼續して存在するものと假定し普通の土壓算出法と同一の假定法及び原理に依て地震の場合の土壓を算定するのであるがこの簡便法と雖も中々煩雑な計算が必要であつて此には其公式を省略するが一例に依て説明すると平時三五度の息角を有する埋戻土の壁背に及ぼす

土壓を P とすれば震度二の地震に於ては P の約一・二倍となり〇、三の震度にては一・六倍震度〇、四に對しては二倍に増大する、而て上記の土壓は背土の上面が水平の場合であつて若し法留石垣の如く其背土が法を爲して居る時は土壓は非常な率を以て増大する、例へば上述の例に於て法が僅かに一〇度の傾斜を爲して居つても、土壓は震度〇、三に對し一・八倍、〇、三に對し二・八倍、震度〇、三五に對しては三、六倍と云ふ様に極めて急足に増大するのである、從て法留石垣に對して絶対の耐震を要求する事は先づ不可能と云はなければならぬ然れども切取及び崖路の法面の崩壊は忽ち交通を中斷する性質のものであるから其等の法留石垣に對して充分の研究が必要であると思ふ。

四 橋 梁

昨年の大震に於て激震地域に在る橋株は道路と云はず鐵道と云はず凡が慘憺たる震害を受け一時他地方との聯絡を全く斷つに至り軍隊の努力に依て漸く應急修理を遂げたのであるが橋梁の震害は直ちに交通を中斷せしめ其復舊亦容易ならざるを以て惹ては住民全般の死命に關する事となるからどうしても絶対耐震を必要とする、併乍ら地震に對する抵抗力とか

交通上交通必要なる耐震力の程度とかになると鐵道と道路とは余程趣が異つて居る即ち鐵道橋に於ては死荷重は割合に小に活荷重は非常に大で而も激烈なる振動を伴ふものであるか

う全般が非常に堅固に出来て居るが故に死荷重のみを負載する場合は各部の耐力に非常な余裕を持つて居る、而て濃尾地震の際も昨年の大震に於ても列車走行中震害を受けた橋は一つもないがこれが誠に幸運な次第で自重のみを支持して居る橋脚橋臺は平時活荷重に對して備へて居つた余力を擧げて地震に耐抗する事が出来るのである又自重が少ない爲めに不幸河中に墜落した場合と雖も橋桁の被る損害は存外に輕易なものである然るに一方道路橋に於ては昔ね死荷重は活荷重より大であり而も斷えず多少の活荷重が橋上に存在するので當時此等に對して其耐力の大半を費して居るのでいざ地震となつてもこれに耐抗すべき余力を有しない而も一旦墜落すれば其重量の過大なる爲めに自らの勢を以て自體を粉粹するのであつて鐵道橋に比して耐震上誠に不利な事情にある、併乍ら必要な耐震力の程度と云ふ事になると兩者の地位が全く轉倒する即ち鐵道橋に於ては桁支點の多少の偏位橋臺橋脚の小傾斜と唯も著しく軌道を不規則ならしめ爲に列車の運轉が不可能になるが道路橋に於ては此等輕度の震害は交通を全く吐絶

するには到らぬ、斯様の次第であるから橋梁の耐震法を講ずるに當つても此等の事情を充分に考慮する必要があると思ふ。

我國の道路構造令に依れば橋架は耐久的材料を用ひ重い車輛の通行に耐れる様に設計しなければならぬので鐵筋混泥土を用ふるか又は鋼鐵を用ひ其橋床に鐵筋版若しくはこれと同等の重量を有する構造と爲なればならぬので上部構造の重量は非常に大きい斯の如き構造に對しても歐米の非地震地方に於ては割合に輕易な橋臺、橋脚を用ひて居るがこれを其儘本邦道路橋の模範と爲すは誠に危険であつて昨年の大震に於ても此種の適例は多々あつた様である、然らば斯の如き重量は割合に軽い橋臺、橋脚を用ひて居るがこれを支持したい構造を用ふる事は交通上止むを得ぬとしてこれを支持して大震の際充分なる耐力を有する如き下構造を造るには如何にすべきかと云ふに橋脚橋臺の形狀構造等に依て計算法は多種多様であるが要するに其原則は極めて明瞭である即橋脚にありては其支持する重量及自重に震度を乗じたる水平力が各重量心點に於て水平に作用するものとし、これに對して龜裂沈下若くは傾斜等の起らぬ様に建築すればよいのである橋臺に於ては上記の水平力の外に背面より働く強大なる土壓をも考慮しなければならぬ、從て耐震的な橋臺橋脚を造るには其主體

を充分堅固にし基礎面を余程廣くし尙且つ施工に充分なる注意を要するので工費も余程増加する次第であるが架橋費全體から見れば惧るゝに足らぬ程度のものである。

併乍ら地震に對する基礎の安定と云ふ事は極て難解の問題である橋梁の下構造に於ては其基礎は平時と雖も上部の巨大なる重量を支持する爲めに強大なる壓力を受けて居り其安全率なども殆んど想定し得ないものであるが、地震の際水平力の作用に依て壓力の分布は極端に不均等となる、爲めに基礎

北海道道路難概要

北海道廳土木部道路課長

理 事 官 遠 山 信 一 郎

北海道廳管理の道路は國費支辨と地方費支辨との二種に分る試みに大正十三年四月一日現在を以てすれば其の國費支辨に屬するものは國道、百五十一里、地方費道四百三十三里準限方費道二百七十九里、町村道八百三十九里、而して地方費支辨に屬するものは地方費道百九十四里、準地方費道五百六十里なりとす此の外市町村の管理に屬する市町村道七千六百八十萬八千百八十五圓餘を計上せり。

は極めて不利の情況に置かれ、而も此情況は刻々變化するのである例へば基礎稼端の一點の壓力は地動と略同一の週期を以てある瞬間に非常に強大となれば次の瞬間には殆ど消滅する、從て恒久的に最も不利な情況に置かる、場合とは余程支が異つてゐる、斯様の次第であるから地震の際基礎の極限支持力に就ては余程研究を要するものと思ふ。

(九月一日稿)