

まえがき

本年1月、道路橋としては、はじめての耐震設計指針の統合が終って、それが公表されると相前後して、2月9日にロスアンジェルス付近に地震が発生し、道路橋にも多数の被害が出た。

この近代都市近郊の地震被害をまのあたりに見て、日本の道路橋の耐震設計について危惧の念をもった研究者や技術者も少くなかった。

本報告では、道路橋を中心に日米 ことに日本とカリフォルニア州における耐震設計の相違点を調べてみたので御紹介する。

## 1 日本における道路橋の耐震規定

### 明治、大正年代の道路施設に関する耐震規定

1886年(明治19年)に内務省は訓令第13号「国県道の築造保存方法等に関する訓令」を発し、今日の道路構造令の原型を呈示したと云われている。無論この訓令には耐震規定が盛り込まれていない。しかしながら、実状を考慮した上で道路構造の標準が規定され、路から道路への格式が備わり、国民の生活、国防、防災などに関する道路の重要性が法制上確認された画期的な事柄であるといえよう。

訓令第13号は1919年(大正8年)に道路構造令が施行されるまで適用されていた。

その後1923年(大正12年)に関東大震災を経験して、1926年(大正15年)6月に内務省土木局の立案した道路構造に関する細則案、第2章橋梁では自動車をはじめとする諸荷重とともに地震力を規定し、地方と地質により自重の15~40%を採ることとし、東京、横浜では30%以上をとった。また地震荷重を考慮する場合の許容応力度の増加は60%とした。

### 大正年代における国内の事情

1915年(大正4年)に佐野利器によって建築物の耐震理論が発表され、いわば、水平力をもつて地震の作用を設計上採り入れようとする考え方がはじめて呈示され、直ちに実用化の段階に入り、その考え方で設計された建物は関東地震(1923年)で大きな被害を蒙らなかつた。

1922年(大正11年)には内藤多仲が建物に対する地震力の分布係数を提案した。

1919年(大正8年)には物部長穂が、塔状構造物の耐震について、翌1920年には橋梁のように頭部の重い構造物の耐震について研究の結果を報告し、ここではすでに構造物の固有周期が地震応答に及ぼす影響について触れていた。

1924年(大正13年)には関東大震災の経験に鑑みて設計震度を0.1とする市条例が出され、また内務省は橋台、橋脚、橋体などの耐震化の方法を定め府県に配布した。

### 昭和初期以降の耐震規定

1931年(昭和6年)には土木学会、1933年(昭和8年)には建築学会によって、それぞれ鉄筋コンクリートの標準示方書が制定され、耐震設計の具体的な手法がより一層明確化された。

1939年(昭和14年)には鋼道路橋設計示方書案が前に述べた細則案、第2章橋梁にとって代った。

1950年(昭和25年)には耐震規準を明確化した建築基準法新法が施行された。新法の施行細則では、地震強度の地域区分は大臣が告示で定めるものとし、ここで河角マップと云われる地域区分が登場することになった。

1964年(昭和39年)には建築基準法の高さの制限が撤廃され、高層ビル建設への道が開けた。土木構造物については、戦後においてつぎの変革を遂げながら今日の姿となっている。

道路橋の耐震設計については1956年(昭和31年)の鋼道示および1964年(昭和39年)の最新の鋼道示において一貫した耐震設計法も呈示してきており、1964年(昭和39年)に道路橋下部構造設計指針が出現するとともに、より一層明確化され、本年1月の道路橋耐震設計指針によってさらに統一的な基準が示されることになった。

この間、特殊な橋梁および道路施設の耐震設計については1966年(昭和41年)に日本道路公団の示した高橋脚橋梁の耐震設計法、1967年(昭和42年)に土木学会が提案した本州四国連絡橋耐震設計指針、さらに同年、道路土工指針における擁壁、カルバートなどの耐震設計法の基準が示された。そのほかにも首都高速道路公団(昭和42年)、阪神高速道路公団(昭和43年)がそれぞれ基準を示している。

ダム耐震設計については1957年(昭和32年)に国際大ダム会議日本国内委員会が呈示したダム設計基準があり、維持管理にわたるまでの基準が示されており、注目された。

そのほかの土木施設の耐震設計については1965年(昭和40年)に土木学会が提案した土木構造物の耐震設計指針案、1966年(昭和41年)に日本水道協会による水道施設の耐震工法、同年の日本国有鉄道の建造物設計基準規程の改正整備、1967年(昭和42年)に日本港湾協会の港湾構造物設計基準などに示された基準が挙げられよう。

## 2 アメリカ合衆国における道路橋の耐震規定

### 一 般 事 情

アメリカ合衆国における構造物の耐震基準は西岸のカリフォルニア州に生じた地震被害も素材にいかつ同州を実験場としてはぐくまれてきたものと考えられる。

1906年のサンフランシスコ震災の復興に際しては、地震と風の両者を考慮して $150 \text{ kg/m}^2 (30 \text{ psf})$ の風力を設計基準を採り入れていた。

その後、地震による作用は質量に比例させるべきだと云う見解が構造工学関係者によって唱えられたが、1927年になってようやく設計基準の付録に、地震のために構造強度を増加させておくことが好ましいという条項が付加されたにすぎなかった。

1928年には、耐震建築基準の必要を認めたカリフォルニア商工会議所が支出した資金によって構造工学関係者は基準の素材を得たが、1933年のロングビーチ地震が起きるまで採用されなかった。

1933年にロングビーチ地震が生じ、学校建築に多く被害が生じ、関係者にショックを与えた。カリフォルニア州の公共事業局建築部は、建築法規の追補として学校建築に対する耐震基準を盛り込むことにした。

それによると、フレームのないメイソリー構造に対しては死荷重の10%の水平力を、その他の構造に対しては2~5%の水平力を見込むことにしている。

同時に1933年にカリフォルニア州議会は、非常に特殊なものを除く一般の建物に対しても鉛直荷重の2%の水平力を採ることも義務づけるライレイ法(Riley Act)を可決した。同法は1953年に改正され、高さ12m未満の建物では3%を、12m以上では2%となった。

また、同1933年、ロスアンゼルス市建築条例では、活荷重の半分と共に死荷重の8%の水平力を構造設計に見込むことが義務づけられた。

1943年には、建物の撓み性を考慮して水平力の割合はつぎのように改められた。

$$C = \frac{6.0}{N + 4.5} \quad (\%)$$

ここで、 $N$ は、対象としている階より上方の階の階数。

1959年には13階より高い建物に対して、つぎの方式によることにした。

$$C = \frac{4.65}{N + 0.9(S - 8)} \quad (\%)$$

ここで、 $S$ は建物の全階数。

一方、サンフランシスコでは、1947年まではライレイ法に準拠する建築規定しかなかった。しかしながら1948年には、米国土木学会と北部カリフォルニア構造技術者協会が設立したサンフランシスコ地区における地震荷重を検討する合同委員会が、つぎに示す水平力の割合を示す式を提案した。

$$C = \frac{K}{T}$$

ここで  $T$ : 建物の固有周期 (秒)

高層建築に対して  $0.02 \leq C \leq 0.06$  ,  $K = 0.015$

その他の構造物に対して  $0.03 \leq C \leq 0.10$  ,  $K = 0.025$

1956年サンフランシスコ市は、この提案を修正して係数や範囲をつぎのように定めた。

高層建築に対して  $0.035 \leq C \leq 0.075$  ,  $K = 0.02$

その他の構造物に対して  $0.04 \leq C \leq 0.10$  ,  $K = 0.035$

今日では、1968年にカリフォルニア構造技術者協会の地震部会が提案した耐震設計法が統一建築基準に採り入れられ、1970年には、それが全米にも適用することが推奨されることとなった。

それによると、全米は地震強度によって4地区に分けられ、構造によっても水平力は変わるが、その基本式はつぎのとおりである。

$$V = ZKCW$$

ここで  $V$ : 水平力

$K$ : 構造要素に支配される補正係数(0.67~3.0)

$W$ : 死荷重

$$C = \frac{0.05}{\sqrt[3]{T}} \leq 0.1$$

$$T = \frac{0.05 h_n}{\sqrt{D}} \quad (\text{建物の固有周期の略算式, 秒})$$

$h_n$ : 建物の高さ(フィート)

$D$ : 水平力を作用させる方向の建物の幅(フィート)

### 橋梁に対する耐震規定

1920年代の後半から1930年代の前半にかけて、ゴールデンゲート橋とサンフランシスコ・オークランドベイ橋の設計において、当時としては精密な耐震設計が行われたことは周知の事実である。その際設計震度は0.05~0.1とした。ベイ橋の場合には、地震時動水圧、動土圧までが考慮されていた。しかしながら、一般の橋梁の耐震設計には優れた方式も生まれず、全米ではわずかにAASHTOの規定（1961年）により、設計震度は0.1、許容応力度の割増しが33%と定められていたにすぎない。

1963年には、カリフォルニア州政府公共事業局道路部橋梁課はAASHTOの道路橋標準示方書、米国鉄道技術協会標準示方書などの手引きとして「橋梁計画・設計指針」を作成した。

これによれば、耐震設計は1968年以降はAASHTOの規定よりも、今日の統一建築基準に近い公式を採用している。地震力はつぎのようになっている。

$$EQ = KCD$$

ここで EQ : 地震時に作用させる水平力

下部構造の壁のタテ、ヨコ比が2.5以下なら、 $K = 1.33$

一柱式橋脚など細長い下部構造なら  $K = 1.0$

ラーメン橋脚などの下部構造なら  $K = 0.67$

D : 死荷重反力

$$C = \frac{0.05}{\sqrt{T}} \leq 0.1, \quad T = 0.32 \sqrt{\frac{D}{P}} \quad (\text{秒})$$

P : 構造物を1インチ撓ませるに要する水平力

### 3 道路橋の耐震設計における日米の相違点

標記の相違点を列挙するとつぎのとおりである。

i) 1920年代以降について云えば、日本では関東地震で極端に高くなった設計震度はその後平常化されてきているが、米国では次第に大きくなってきている。しかし、現状でも日本は約3倍の大きさを保っている。

ii) 許容応力度の地震時に対する割増は、日本では50~70%としているが、米国では33%で、日本の約半分しか割増していない。

iii) 転倒或いは滑動などに対する設計上の検討は日本では行なうよう規定されているが、米国では規定していない。

iv) 構造細目の規定では日本がはるかに優れている。

v) 上記の諸点を総合すると、日本では最も地震の影響が弱いと認定されている地域の橋の方が、米国で最も地震の影響が強いと認定されているカリフォルニア州の橋よりも耐震性があると見なすことができよう。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会 道路橋耐震設計指針 昭和46年1月
- 2) 粟林栄一 最近の道路技術(その4) 耐震技術の現況と将来 道路 1971年4月
- 3) Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, 1968 Revision, Seismology Committee, Structural Engineers Association of California
- 4) Standard Specifications for Highway Bridges, 1961, AASHTO
- 5) Bridge Planning and Design Manual 1963~1970, The Department of Public Works, Division of Highways - Bridge Department