

道路橋の耐震計画の要点

後藤 和満¹⁾、立山 晃¹⁾、亀井 与志¹⁾

1) (株)建設技術研究所 東京支社技術第四部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町4丁目9-11)

1. はじめに

平成7年の兵庫県南部地震以降、被災を受けた道路橋の耐震技術基準が改定され、被災を免れるための処方箋が求められている。

地震時保有水平耐力法による設計は、道路橋が被災を免れるための一つの処方箋であるが、一般に詳細設計段階での耐震設計は、既に主要な部材配置や立地地盤との組み合わせが定められているため、処方箋としての限界があり、また大胆な対策、例えば橋脚をすべて無くす構造などを講じることが難しい。

そこで望ましい耐震計画が重要となる。

ここで、設計計算の前段となる処方箋を耐震計画論と呼ぶこととすると、橋梁構造の全体系の耐震計画論について計画の要点は、地形地盤と橋梁構造の組み合わせの問題であり、これまでの道路橋の技術変遷についても考察してみることにする。

まず、道路橋計画のパターンを4つに分類し、表-1に架橋ケースを示す。

表-1において、Dパターンについてはパターン分類が難しいため、本稿ではA～Cの3パターンの計画について、検討することとする。

表-1 道路橋の計画パターン

パターン分類	概略説明
Aパターン ：山岳地形型	1・3種道路：国土の80%に及ぶ山間の道路橋
Bパターン ：一般河川型	1・3種道路：郊外河川に架橋される一般道路橋
Cパターン ：都市高架橋	2・4種道路：都市交差点(鉄道など)の道路橋
Dパターン ：混在型(都市部) ：港湾・海洋など	2・4種道路：混合・複合する街路・港湾など大小の架橋パターン混在

2. 道路計画の在り方と想定地震規模

通常橋梁計画を行う前に、道路計画が進められるが、これは物流や地域防災の観点からの、路線としての道路計画である。道路計画は、道路構造令に定められる道路種別でほぼ決定されるが、道路橋の計画は、路線の中で、地形や土地利用などの障害物と交差する箇所

に計画される。

道路種別は、路線属性という点から等級が定められ、

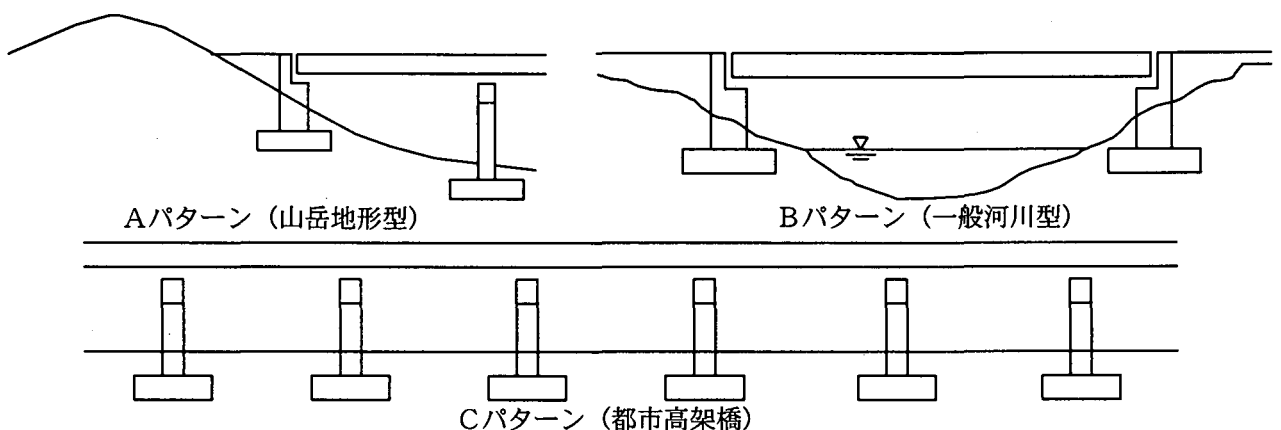


図-1 道路橋の「計画パターン」の分類

表-2 想定地震規模の決定要因

計画・要点	重要度	地域性
	F1	F2
被災予測	大	小
地震予測	小	大

交通量はこの等級で決定される。したがって橋梁の利用度にも関係するため、道路種別と橋梁の重要度との関連を考慮することが必要であると考えられる。

道路橋の重要度は、「A・B」2通りに分類されており、両者をそれぞれ、地域の開発に寄与する路線と物流の根幹をなす路線と見なすことができる。

道路構造令において1・3種道路は、郊外型の道路であり、2・4種道路は都市型の道路と示されている。地震被害が都市型となっていることを勘案すると、道路橋の重要度における「B」を都市型、「A」を郊外型と分類することが出来ると思われる。このように、道路橋においても道路利用者の納得できる重要度の決定が必要であると思われる。表-1に示した道路橋の分類は、都市環境の中での混在型であり、地域防災計画などと調整を図りつつ、重要度を決定する必要があると考えられる。

表-2に想定地震規模の決定要因を示す。想定地震規模は、路線重要度と過去の被災経験との両方により説明できるものと考えられる。

想定地震規模の決定要因は、過去の被災経験を踏まえて決められるもので、路線重要度 F1 および地域性 F2 の2つの異なる因子が考えられている。被災予測は、経済社会の発展段階により精緻な予測手法が求められるが、路線重要度に関連している部分が大きい。一方、地域性に関連する地震の予知・予測の研究活動も活発である。

地震規模と被害の予測手法が、最新の研究から得られたのであれば、重要度や地域性から定まる想定地震規模の説明も容易になる。

住民参加型の道路整備などの試みのある現在、説明責任が行政に求められ、その論拠を巡って様々な議論がなされており、地震規模を定める科学的根拠の必要な時代となっている。住民は、構造物の耐震性という安全について、専門家の意見を聞きながら聞いているのである。その答えの用意できる安全の基本が、想定する地震規模なのである。

3. 道路利用と架橋地点の供用性

地震規模の予測は、不確実な要因が含まれるため、難しい問題である。しかし地震時における供用性を確

表-3 計画パターンと考慮すべき要点

分類パターン	道路利用と架橋地点による供用性	耐震計画上の考慮すべき要因事項
A 山岳地形	・緊急輸送道路は「徐行」で渡れる段差 ・地域道路は走行不能でも落橋しない	・破碎帯と活断層 ・土砂・斜面崩壊 ・ダム湖・トンネル ・復旧のための道
B 河川地形	・緊急輸送道路で渡れる段差・開口・変位 ・地域道路は走行不能でも落橋しない	・堤防段差・沈下 ・主流部と高水敷 ・地盤液状化・流動 ・復旧工事の組み立て
C 都市交差	・都市地域の防災計画の拡充ときめ細かい「地震防災道路」の供用性 ・都市災害の抑制	・交差対象重要度 ・隣接地区の物流 ・都市火災の防衛 ・桁下利用空間

保するためには地震規模の予測が必要である。従ってここでは、地震被害を免れる処方箋を考える前に、地震時の供用性の確保について考える。

供用性を考えるにあたり、道路橋の隣接部分や交差対象の性質を考慮しなければ、本来の目的としている供用性の確保が難しい場合がある。たとえば山岳地域であれば、斜面崩壊や隣接トンネルなどが遮断されると、路線供用性が確保できない。また、河川であれば、堤防などの耐震性も課題になろう。

道路橋の供用性は、こうした周辺環境を踏まえて、確保される目標を設定すべきである。

耐震計画は、構造物単独で考えるものでなく、周辺の構造物についても十分に配慮することが望ましい。とくに都市部については、交通密度が高いもの、あるいは復旧工事の優先度等への配慮などを考慮することが必要である。

4. 全体構造系の耐震計画

道路橋の耐震計画は、上部構造から下部基礎構造など細目に至る全ての構造の配慮である。その計画手法を2つに分けると、「破壊しないように全体構造系を計画」する方法と、「破壊する位置が制御できる全体構造系に計画」する方法とである。その特徴を整理すると表-4となる。

従来はGタイプの計画が圧倒的に多く、耐震設計計算手法として震度法が用いられており、その結果、剛な構造となっている。また単純橋は、連続化した結果、結合次数が多くなり、破壊箇所の予想が困難となっている。一方、最近では、Kタイプの計画が主流となってきており、設計計算手法として地震時保有水平耐力法が用いられ、また免震部材等が用いられ、構造物の塑性ヒンジの発生部位の予想がしやすくなってきている。

しかしながら計算手法が煩雑になるにつれて、様々

表-4 全体構造系の耐震計画

分類	破壊させない方法 Gタイプの計画	破壊を制御する方法 Kタイプの計画
長所	不静定次数を高くして、各個撃破を未然に防止する。	特定部に破壊制御する部材を設けて修復しやすいものとする。
短所	予想をはるかに上回る規模の地震に遭遇すると破壊の位置や形態が不明となる。	予想を上回る規模の地震を受けても破壊部分が限定され、修復が容易になる。

な構造物の計算も可能となったが、逆に構造が複雑となり、制御箇所の予想が困難となる可能性がある。耐震計画においては、構造全体系の挙動を十分に把握する必要があり、その結果、部材の特性がわかれば、橋脚位置の変更、あるいは装着する部材の剛性を変化させる等、構造への処方箋が出せるのである。表-5に、Kタイプの耐震計画について示す。

架橋地点の属性を前述のようにA～Cの3パターンに分類すると、耐震計画の具体性を示すことができる。道路橋の望ましい構造について、具体的な架橋地点の属性を含めて、配慮事項をまとめることが望ましいと思われる。

表-5の耐震計画の要点の中で、地盤と構造系の相互作用が含められているが、耐震構造を考える場合の基本が、動的相互作用の問題と考えられる。阪神の地震において、隣接する2つの構造の振動増幅は、同一地盤にあっても、異なるものとなる場合もあった。被災の大小は、振動周期により相違するものであり、地盤周期に近いほど、相互作用が著しいものとなるため、被災状況も大規模となる。設計計算においては、構造物周期Tと地盤周期T_gの両方を算出するため、これを用いて、両方の周期をはずす努力が必要なことと思

表-5 分類パターンと耐震計画の要点

分類パターン	Kタイプの耐震計画	キーワード
A：山岳地形 I種地盤（岩盤） T _g = 0.1秒 道路計画高さH H = 30m 幅員 10m	左右の斜面地盤の安定 橋台固定と可動の条件検討 橋桁の分割の検討と連続化 上部構造と下部構造の結合 橋脚配置と負担重量の検討 全体周期は1秒を超える	・地盤変化 ・橋台配置 ・橋長決定 ・上下結合 ・橋脚配置 ・全体周期
B：河川地形 II種地盤（洪積） T _g = 0.4秒 道路計画高さH H = 15m 幅員 10m	左右の支持地盤の傾斜 堤防部分の橋台の条件検討 橋桁の分割の検討と連続化 上部工と下部工を免震結合 橋脚配置と河川部の関係 全体周期は1秒を超える。	・地盤変化 ・橋台配置 ・橋長決定 ・上下結合 ・橋脚配置 ・全体周期
C：都市交差 III種地盤（沖積） T _g = 1.0秒 道路計画高さH H = 10m 幅員 10m	軟弱地盤の安定検討 基礎構造の地盤の相互作用 桁長さとの関係 上・下・基礎での免震機構 橋脚配置は、廃止 全体周期の設定方法	・地盤変化 ・相互作用 ・橋長決定 ・上下結合 ・橋脚配置 ・全体周期

われる。

今日においては、共振現象を避けることが基本とされ、これはあらゆる工学的な振動問題の基本になっている。耐震設計においても地盤周期と構造周期との組み合わせを考慮して、適切な構造周期の設定手法が必要なことと考えられる。

5. 震度法で建設された橋脚特性

震度法と許容応力度法の組み合わせで設計・建設された道路橋の数は多く、過去に建設された事例を収集して、その特性が調べられている。橋脚の高さHと部材厚Dとの比率をせん断スパン比γとする。また橋脚が負担する上部構造重量Wを橋脚断面積Aで割り、負担応力σと呼ぶことにする。これらの関係は、図-2に示すようになる。ここで橋脚の固有周期をTとすると、以下のような関係式が得られる。

$$(\sigma \gamma) / T = \text{一定} = C \quad \dots \dots (1)$$

これは、震度法により設計された結果として、類似の断面構成になっていることを表している。つまり橋脚高さに関わらず、せん断スパン比γは4～10程度である。

式(1)においては、地盤周期T_gとの関係が含まれていないため、A・Bパターンの橋梁計画において、断面形状（せん断スパン比）の設定に地盤周期を考慮することとする。

橋脚配置を定めると部材厚さの仮定が必要になるが、この場合の断面設定に、下式に示す共振を避けるためのパラメータαを導入する。

$$T > (1 + \alpha) T_g \quad \dots \dots (2)$$

ここでα=1は、橋脚周期Tと地盤周期T_gの2倍以上に設定することとする。

式(1)および式(2)より、断面の形状要素には、以下に示す式(3)が与えられる。

$$(\sigma \gamma / C) > (1 + \alpha) T_g \quad \dots \dots (3)$$

一方、地震時保有水平耐力法においては、γを大きくすると、残留変位で決まる断面寸法があり、γの上限が与えられる。

地盤周期T_gを避けて、長周期の橋脚にした場合、残留変位で決まるようなスレンダーな橋脚になる。

絞られた橋脚断面は、計算により断面を決定していくが、橋脚周期が短くなると負担する地震力も大きくなるため、断面積が増大する。

近年の傾向として、断面構成において、太径鉄筋の使用が一般化したことである。従来のようにD32程度に抑える方式からD51の採用が増大している。鉄筋を太くして、断面積を小さくする方法と、以前のような断面積が大きい橋脚断面とする方法の、どちらを採用

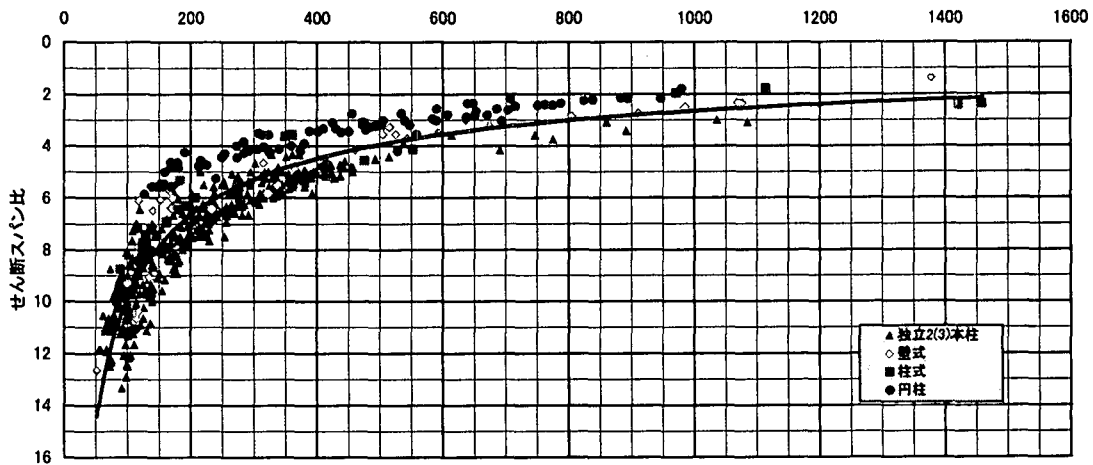


図-2 単位面積あたりの負担重量/固有周期とせん断スパン比の関係

するかは、耐震計画論で解決すべき課題である。

6. まとめ

地震動は、複雑な現象であるが、近年のコンピュータレベルの大幅な上昇により、複雑な計算でも、パソコンレベルで十分に対応できるようになった。しかし、詳細な計算段階では、処方箋の範囲が狭く、耐震性の大幅な改善効果を得ることの出来ない場合がある。したがって予防段階として、耐震計画論が具体化されると、望ましい構造へと転換できるのである。

道路橋示方書の改訂が進められており、耐震性能などの議論も活発になされている。この改訂においては、その先の改訂についても検討されている。本稿の耐震計画論は、Kタイプの耐震計画と呼ぶこととし、これまでの橋脚が破壊しないための計画から、破壊をする箇所を制御できる計画である。破壊規模については、定量化が困難な問題であるが、その前段の破壊箇所の制御が重要である。

耐震設計をすすめる前に、耐震計画論があつて良いと思われる。橋梁の一般図を見ると設計者の耐震的な意図がわかることが肝要である。道路橋は、安全であることが求められ、大地震時にあつても安心でき、緊急輸送路の要とされる。戦後の50年間に膨大な道路整備事業が展開され、多くの交通網が形成されている。今後の道路橋の整備は、住民の意見や参加型などの合意形成の求められる局面が増えてくるとと思われる。耐震設計の論理も、これまでのように供給側の論理から利用者の論理へとシフトしてきているように思える。利用者に対しては、数値の説明に納得しない場合もあり、また耐震計算などの説明が難しいため、アニメーションのような動的画像で説明し、かつどのような位

置に損傷の進行があるのかわかる、画面による説明が求められると思われる。利用者や沿道住民に分かる耐震計画が必要な時代なのである。つまり、きめの細かい配慮がなされることで、耐震性能の向上を図るのである。乱暴な議論で、建設する時代が終わろうとしている。そして、配慮すべき要点を具体化させることが、これからの耐震計画論になる。

本稿では、架橋パターンをABCに分類し、その具体的な配慮事項を示すとともに、構造計算にはいる前の処方箋の在り方について考えたものである。要点を以下に示す。

- 1) 想定する地震規模の予測精度の向上を図る。
- 2) 地形地盤への全体構造の特性を調べる。
- 3) 橋梁全体の挙動の予測精度を向上させる。
- 4) どの位置で破壊が進行するか予測する。
- 5) 破壊予測から修復方法に配慮する。

極めて常識的な結果である。道路橋の耐震設計に従事する者が、事前に配慮する事項を具体的にまとめるための耐震計画論が望まれている。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 耐震設計編，1997。
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書 V耐震設計編，1998。