

長支間コンクリート道路橋の設計合理化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 24

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：木村嘉富，和田圭仙

【要旨】

コンクリート道路橋の終局荷重作用時におけるせん断の照査においては、せん断耐力算定式のばらつきが大きいため、相当程度の安全余裕を担保した設計を行っている。このため、断面や支間の大きい部材などせん断耐力の照査で断面が決定される部材に対して、せん断に対する照査方法を改善することにより設計合理化を図ることができる可能性がある。また、せん断耐荷機構を適切に把握することは、既設橋の残存せん断耐力の推定精度向上にも繋がる。

しかしながら、現行のせん断耐力照査においては、耐力評価法の精度や実橋梁のせん断耐荷機構、安全余裕など不明な点も多く残されており、早急な対応が必要とされる。

そこで、本研究では信頼性設計の考え方にに基づき、試設計により現行設計法による構造物の安全余裕を把握したうえで、目標とする信頼性指標を定め材料等のばらつきを考慮した抵抗係数を試算した。その際、せん断耐力評価手法については過去の実験結果や現行のせん断耐力評価式を整理し、合理的な評価式を提案した。また、これを踏まえて実設計への影響を確認するため、一定の安全余裕を確保する条件のもと抵抗係数を算定し、試設計により構造形式や部位ごとの耐力評価を実施した。

その結果、せん断耐力評価式の見直しにより現行より多くのパラメータを考慮することで、一定の安全余裕を確保しつつ、せん断耐力評価式のばらつきを抑えた合理的な設計を行うことが可能となることが分かった。その傾向はコンクリートが負担できるせん断耐力の大きい、コンクリート断面や支間の大きい部材、もしくはパラメータによる耐力評価式への寄与が大きい、部材有効高が小さく引張鋼材が多い部材で顕著となることが分かった。

キーワード：コンクリート道路橋，信頼性設計，せん断，抵抗係数

1. はじめに

コンクリート道路橋の終局荷重作用時におけるせん断の照査においては、せん断耐力算定式のばらつきが大きいため、相当程度の安全余裕を担保した設計を行っている。このため、断面や支間の大きい部材などせん断耐力の照査で断面が決定される部材に対して、せん断に対する照査方法を改善することにより設計合理化を図ることができる可能性がある。また、せん断耐荷機構を適切に把握することは、既設橋の残存せん断耐力の推定精度向上にも繋がる。

しかしながら、現行のせん断耐力照査においては、耐力評価法の精度や実橋梁のせん断耐荷機構、安全余裕など不明な点も多く残されており、早急な対応が必要とされる。

そこで、本研究では信頼性設計の考え方にに基づき、試設計により現行設計法による構造物の安全余裕を把握したうえで、目標とする信頼性指標を定め材料等のばらつきを考慮した抵抗係数を試算した。その

際、せん断耐力評価手法については過去の実験結果や現行のせん断耐力評価式を整理し、合理的な評価式を提案した。また、これを踏まえて実設計への影響を確認するため、一定の安全余裕を確保する条件のもと抵抗係数を算定し、試設計により構造形式や部位ごとの耐力評価を実施した。

2. 現行設計に対する安全余裕度の評価

2.1 検討の流れ

現行設計に対する安全余裕度の評価および目標信頼性指標に対する抵抗係数算定の検討フローを図-2.1に示す。

まず、現行設計法が有する構造物の安全余裕を把握するため、材料や施工誤差等のばらつきを考慮した上で信頼性指標を算定した。次に、目標とする信頼性指標を定め、抵抗係数の検討を行った。

以下、各検討内容を示す。

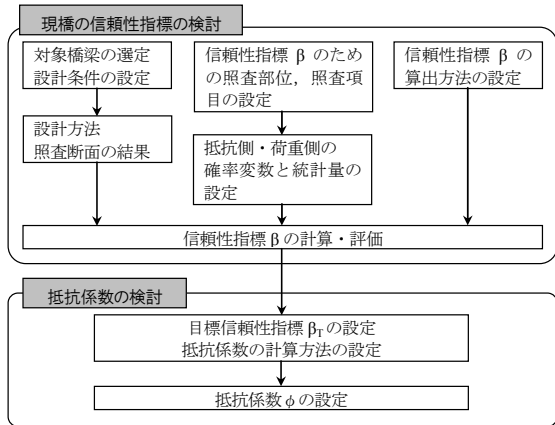


図-2.1 検討の流れ

(1) 信頼性指標の検討

道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編平成14年版（以下、道示Ⅲ）に従って設計されたコンクリート橋の主方向を対象に、現行基準に従った設計（以下、現行設計）が有している破壊に対する信頼性指標βの試算を行った。

照査項目は、道示Ⅲにおける曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の終局荷重作用時における破壊抵抗曲げモーメントの照査（以下、曲げ耐力）、せん断力が作用する部材の終局荷重作用時における斜引張破壊に対する照査（以下、斜引張破壊耐力）並びにウェブコンクリートの圧壊に対する照査（以下、ウェブ圧壊耐力）、及びねじりモーメントが作用する部材の終局荷重作用時における斜め引張破壊に対する照査（以下、ねじりによる斜引張破壊耐力）である。照査部位は、それぞれの橋種において断面力が卓越する箇所（支間中央、支点部、1/4支間等）とした。

検討に用いた荷重は、たとえば表-2.1に示すように平成22年時点の道路橋示方書 I 共通編部分係数版ドラフト（以下、新道示 I ドラフト）に示された

表-2.1 検討に用いた荷重および荷重組合せの一例

記号	新荷重組合せ	
①	1.05D	+1.00(PS+CR+SH)
②	1.05D+1.10L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)	
③	1.05D+1.05L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)	
④	1.05D	+1.00(PS+CR+SH)+0.60T
⑤	1.05D	+1.00(PS+CR+SH) +0.70E
⑥	1.05D+1.10L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)+0.60T	
⑦	1.05D+1.05L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)+0.20T	
⑧	1.05D+0.80L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)	+1.25E
⑨	1.05D+0.60L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)	+1.55E
⑩	1.05D+0.95L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)+0.60T	
⑪	1.05D+0.05L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)+0.60T+1.60E	
⑫	1.05D+0.60L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)+0.60T+0.75E	
⑬	1.05D+0.05L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)	+0.35E
⑭	1.05D+0.10L+1.00I+1.00(PS+CR+SH)+0.40T+0.15E	

※土圧、水圧、浮力、揚圧力、波圧、衝突荷重、風荷重、遠心荷重、制動荷重、雪荷重、地盤変動の影響、支点移動の影響は考慮していない。
 ※緑色塗潰箇所は地震時を考慮した荷重組合せであり、連続ラーメン橋(g80, g120)のみ検討を行った。なお、地震時の条件は、I種地盤、A地域としてkh=0.20とした。

永続作用時および変動作用時の荷重係数と荷重組合せ（以下、新荷重組合せ）などである。

(2) 抵抗係数の検討

新荷重組合せに対する信頼性指標βを基に、目標信頼性指標β_Tを決定し、抵抗係数を算定した。

2.2 検討対象橋梁および試設計

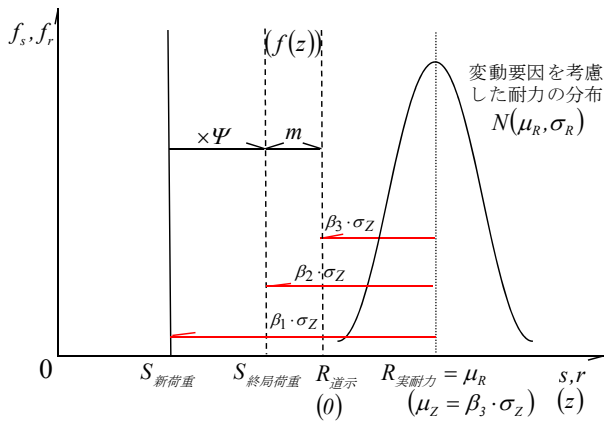
(1) 検討対象橋梁

表-2.2に検討対象とした橋梁形式と支間長を示す。橋梁形式は最近のプレストレストコンクリート橋の建設実績から、上位約8割を占める中空床版橋、T桁橋、箱桁橋を選定し、それに見合う支間長を設定した。中空床版橋は、PC橋に加え小支間を想定したRC橋の検討も実施した。なお、幅員構成は全て同

表-2.2 検討対象の橋梁と支間長

橋梁形式	RC		PRC	PC				
	単純中空床版橋			単純 ポステンT桁橋	連結 e20 注1)	連続		
	a20 a20N 注6)	b20	c20 c20N 注6)			箱桁橋	ラーメン箱桁橋	
支間長	20m	a20 a20N 注6)	b20	c20 c20N 注6)	d20	e20 注1)	-	-
	30m	-	-	-	-	e30 注2)	-	-
	40m	-	-	-	-	e40 注3)	f40 注3)	-
	80m	-	-	-	-	-	f80 注4)	g80 注4)
	120m	-	-	-	-	-	f80N 注4) 注6)	g80N 注4) 注6)
							f120 注5)	g120 注5)

注1) 支間割は3@20m 注2) 支間割は3@30m 注3) 支間割は3@40m 注4) 支間割は40m+80m+40m
 注5) 支間割は80m+120m+80m 注6) “N”は、ねじりの検討(交角5°, 30°)を示す。



ここに、 $m(=R_{道示}-S_{終局荷重})$ ：構造細目等による耐力の余裕量

図-2.5 本検討における信頼性指標の概念図

一としている。

(2) 試設計における荷重条件

試設計における荷重条件は、道示Ⅲの終局荷重作用時の組合せによるものとした。

(3) 試設計方法

曲げ耐力や斜め引張破壊耐力などの耐力算定にあたり、各耐力に対する信頼性指標を把握するために、設計荷重時の許容応力度の照査を無視し、終局荷重時断面力相当の耐力を有するよう部材厚や鋼材配置等の細目を決定した。

2.3 信頼性指標の算出方法

信頼性指標 β の解析方法として各種の方法が提案されているが、曲げ耐力は断面力計算を必要とすることから汎用性を考慮してFOSM法を用いた。なお、斜引張破壊（せん断、ねじり）とウェブ圧壊耐力（せん断）はモンテカルロシミュレーションを用いた。

本検討に用いた信頼性指標の概念図を図-2.1に示す。ここで信頼性指標とは、現行設計が新道示Ⅰドラフトに示される新荷重組合せによる荷重に対して有する信頼性指標であり、図中の β_1 に相当する。しかしながらこの β_1 は、終局荷重作用時の荷重組合せと新荷重組合せにより発生する断面力の相違や、構造細目等によって生じる耐力の余裕に関する安全余裕も含まれており、信頼性指標が大きく破壊確率が小さい。そこで、部分安全係数として考慮すべき安全余裕と、各要因が信頼性指標に及ぼす影響の程度を把握するため、上記の β_1 に加え、現行終局荷重による断面力を荷重値とした β_2 、および構造細目等による余裕量を加えた断面力を荷重値とした β_3 に

表-2.3 材料・施工による変動要因

項目	平均値	変動係数
コンクリート強度	設計基準強度の 1.2 倍	15%
ヤング係数	道示の通り	10%
乾燥収縮・クリープ	道示の通り	17%
有効高	設計値	10mm
PC 鋼材の引張強度	規格値の 1.03 倍	1%
鉄筋の降伏強度	規格値の 1.14 倍	4%

細分化することとした。

なお、本検討においてコードキャリブレーションの観点から信頼性指標は β_3 を用いて試算した。つまり、現行終局荷重と新荷重の荷重レベル差に起因する両者の断面力比は修正係数 Ψ として、算出された抵抗係数を除することにより考慮した。

信頼性指標 β_3 は以下の式(2.1)により表わされる。

$$\beta_3 = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_R - R_{道示}}{\sqrt{\sigma_R^2 + 0}} = \frac{\mu_R - S_{終局荷重} - m}{\sqrt{\sigma_R^2 + 0}} = \frac{R_{道示} - \Psi \cdot S_{新荷重} - m}{\sqrt{\sigma_R^2 + 0}} \quad (2.1)$$

表-2.3 に考慮した不確定要因と基本統計量を示す。各変動要因の平均値および変動係数は、既往の調査結果等に基づき設定した。

2.4 目標信頼性指標 β_T と修正係数 Ψ の算出

目標信頼性指標 β_T の設定にあたり、前述のとおり作用体系の見直しに伴う終局荷重組合せと、新たな荷重組合せによる断面力比の影響や、構造細目等による余剰耐力分を分類して評価するため、これらの影響を除いた β_3 を目標信頼性指標 β_T とした。なお、断面力比の影響については修正係数 Ψ で考慮し、また、構造細目等による余剰耐力は、実設計において考慮されることから、実構造物では β_1 相当の安全余裕を有することとなる。

表-2.4 から表 2.7 に、それぞれ曲げ、せん断（斜引張破壊）、せん断（ウェブ圧壊）、ねじり（斜引張破壊）の各耐力に対する修正係数 Ψ 及び目標信頼性指標 β_T を示す。なお、せん断（斜引張破壊）は、4章に示すとおり、道示Ⅲおよび平成24年3月制定 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編の両ケースについて信頼性指標を算定した。

修正係数は 1.6~1.9 程度であり、概ね荷重係数比に応じた断面力比となった。

表-2.4 曲げモーメントの修正係数および目標信頼性指標

項目	記号	値	備考
修正係数	ψ_s^M	1.56	e20,e30,e40の中間支座位、f80の側径間部、地震時で決定するg80,g120の側径間部および中間支座位を除く平均値※1
目標信頼性指標	β_s	1.96	e20,e30,e40の中間支座位、f80の側径間部を除く平均値※1

表-2.5 せん断（斜引張破壊）の修正係数および目標信頼性指標

項目	記号	値	備考	
修正係数	ψ_s^V	1.64	e20,e30,e40の中間支座位、f80の側径間部、地震時で決定するg80,g120の側径間部および中間支座位を除く平均値※2	
目標信頼性指標	道示Ⅲ式	β_s	2.11	e20,e30,e40の中間支座位、f80の側径間部を除く平均値※2
	道示Ⅴ修正式	β_s	5.82	e20,e30,e40の中間支座位、f40の側径間1/4部、f80の側径間部を除く平均値

表-2.6 せん断（ウェブ圧壊）の修正係数および目標信頼性指標

項目	記号	値	備考
修正係数	ψ_s^W	1.60	f80端支座位を除く平均値
目標信頼性指標	β_s	0.60	f80端支座位を除く平均値

表-2.7 ねじりモーメント（斜引張破壊）の修正係数および目標信頼性指標

項目	記号	値	備考
修正係数	ψ_s^T	1.93	a20T,e20Tの端支座位、f80T,g80Tの端支座位、支間1/4点部、中間支座位、地震時で決定するg80Tの端支座位、支間1/4点部、中間支座位を除く平均値※3
目標信頼性指標	β_s	3.51	地震時荷重を含まない場合の平均値※3

なお、目標信頼性指標 β_T のうち、せん断（ウェブ圧壊）の値が0.60と他と比べて小さいが、これはウェブ圧壊耐力の変動要因のうち、コンクリート強度に起因する「平均せん断応力度の最大値」が支配的であることによると考えられる。ただし実設計においては、修正係数による安全余裕を考慮した抵抗係数とすること、一般に部材厚はウェブ圧壊より斜引張破壊で決定することから、信頼性設計導入によりウェブ圧壊に対する安全余裕が他と比べて著しく小さくなることはないと考えられる。

3. 目標信頼性指標に対する抵抗係数の検討

2. で設定した目標信頼性指標 β_T に基づき、新荷重組合せに対する抵抗係数の試算を行った。

3.1 目標信頼性指標に対する抵抗係数の算出方法

(1) 曲げ耐力、せん断耐力（ウェブ圧壊）、ねじり（斜引張破壊）の抵抗係数

代表として曲げ耐力に対する抵抗係数の算出方法を示す。荷重強度係数設計法の設計基準式より、荷重項を確定値とすると次式が示される。

$$\phi \cdot R_n \geq S_n \quad (3.1)$$

ここに、

R_n : 設計示方書によって示される公称強度または耐力

S_n : 設計示方書によって示される各設計荷重から求まる公称荷重作用

ϕ : 抵抗係数

抵抗係数 ϕ は、

$$\phi = (1 - \beta_T \cdot V_R) \mu_R / R_n \quad (3.2)$$

で表わされる。ここで、 β_T は目標信頼性指標、 $V_R = \sigma_R / \mu_R$ は変動係数、 μ_R は耐力平均値、 R_n は公称耐力である。

修正係数 ψ^M を抵抗係数 ϕ に含めて表現し、修正係数を考慮した抵抗係数 $\phi_a = \phi / \psi^M$ とすれば、

$$(\phi / \psi^M) \cdot R_n = \phi_a \cdot R_n \geq S_{\text{新荷重}} \quad (3.3)$$

と表され、この ϕ_a が設計に用いる抵抗係数となる。

(2) 斜引張破壊耐力の抵抗係数

斜引張破壊に対する耐力式である道示Ⅲ式 S_{sc} および道示Ⅴ修正式 P_s は、コンクリートが負担できるせん断力 S_c 、斜引張鉄筋が負担できるせん断力 S_s およびPC鋼材の引張力のせん断力作用方向の分力 S_p の和で表される。各成分は、対象としている材料や期待される負担するせん断力の考え方が相違し、その分担割合も相違するため、一律の抵抗係数を採用するとそれぞれの影響が明確にならない。そこで、各成分に対応した抵抗係数を設定することとした。また、荷重項を確定値とすると、曲げ耐力と同様に基準式は以下のように表わされる。

$$\phi_c \cdot R_{sc} + \phi_s \cdot R_{ss} + \phi_p \cdot R_{sp} \geq S_n \quad (3.4)$$

ここに、

ϕ_c : コンクリートが負担できるせん断力に対する抵抗係数

ϕ_s : 斜引張鉄筋が負担できるせん断力に対する抵抗係数

ϕ_p : PC鋼材の引張力のせん断力作用方向の分力に対する抵抗係数

R_{sc} : コンクリートが負担できるせん断力

R_{ss} : 斜引張鉄筋が負担できるせん断力

R_{sp} : PC鋼材の引張力のせん断力作用方向の分力各抵抗係数は以下のように表わされる。

$$\phi_c = (1 - \beta_T \cdot \alpha_{rc} \cdot V_{rc}) \frac{\mu_{rc}}{R_{rc}} \quad (3.5)$$

$$\phi_s = (1 - \beta_T \cdot \alpha_{R_s} \cdot V_{R_s}) \frac{\mu_{R_s}}{R_{ns}} \quad (3.6)$$

$$\phi_p = (1 - \beta_T \cdot \alpha_{R_p} \cdot V_{R_p}) \frac{\mu_{R_p}}{R_{np}} \quad (3.7)$$

修正係数を抵抗係数に含めて表現し、修正係数を考慮した抵抗係数をそれぞれ $\phi_{ac} = \phi_c / \Psi^S$,

$\phi_{as} = \phi_s / \Psi^S$, $\phi_{ap} = \phi_p / \Psi^S$ とすれば、

$$\begin{aligned} & (\phi_c / \Psi^S) \cdot R_{nc} + (\phi_s / \Psi^S) \cdot R_{ns} + (\phi_p / \Psi^S) \cdot R_{np} \\ & = \phi_{ac} \cdot R_{nc} + \phi_{as} \cdot R_{ns} + \phi_{ap} \cdot R_{np} \geq S_{\text{新荷重}} \end{aligned} \quad (3.8)$$

と表せ、これらの抵抗係数が設計に用いる抵抗係数となる。

3. 2 抵抗係数の算定結果

表-3.1 に修正係数 Ψ を考慮した抵抗係数 ϕ を示す。それぞれの抵抗係数は修正係数で除しているため、概ね 0.5~0.6 程度と、諸外国のそれと比べると小さい。なお、せん断（斜引張破壊）のⅢ編式の場合のコンクリート分担分 (S_c) の抵抗係数は 0.41 と、特に小さい。これは、コンクリートが負担できるせん断応力度が、表-2.3 に示すとおり材料ばらつきの大きいコンクリート強度に支配されるためである。

表-3.1 抵抗係数一覧（修正係数 Ψ 考慮）

項目		記号	抵抗係数 ϕ	備考
曲げ耐力		$\phi_{ar} = \phi / \Psi_R^M$	0.60	$\Psi_R^M = 1.56$
せん断 (斜引張破壊)	Ⅲ編式	S_c	$\phi_{ac,III} = \phi_{c,III} / \Psi_R^S$	$\Psi_R^S = 1.64$
		S_s	$\phi_{as,III} = \phi_{s,III} / \Psi_R^S$	
		S_p	$\phi_{ap,III} = \phi_{p,III} / \Psi_R^S$	
	Ⅴ編式	S_c	$\phi_{ac,V} = \phi_{c,V} / \Psi_R^S$	$\Psi_R^S = 1.64$
		S_s	$\phi_{as,V} = \phi_{s,V} / \Psi_R^S$	
		S_p	$\phi_{ap,V} = \phi_{p,V} / \Psi_R^S$	
せん断(ウェ ブ圧壊)	S_{uc}	$\phi_{acR} = \phi_c / \Psi_R^C$	0.62	$\Psi_R^C = 1.60$
	S_p	$\phi_{apR} = \phi_c / \Psi_R^C$	0.62	
ねじり(斜引張破壊)		$\phi_{ar} = \phi / \Psi_R^T$	0.52	$\Psi_R^T = 1.93$

4. コンクリートが負担できる平均せん断応力度の検討

4. 1 概要

平成 24 年 3 月制定 道路橋示方書・同解説 Ⅲ コンクリート橋編¹⁾（以下、道示Ⅲ）に示されているコンクリートが負担できるせん断応力度は、昭和 53 年 1 月制定 道路橋示方書 Ⅲ コンクリート橋編²⁾（以下、S53 道示Ⅲ）で規定されたものである。

一方、平成 24 年 3 月制定 道路橋示方書・同解説 Ⅴ 耐震設計編³⁾（以下、道示Ⅴ）では、平成 8 年 12 月制定 道路橋示方書・同解説 Ⅴ 耐震設計編⁴⁾（以下、

H8 道示Ⅴ）から、引張鋼材比や有効高さや地震時の繰返し作用を考慮した新しいせん断耐力式が採用されている。

両式は、それぞれ考慮するパラメータの相違等により精度に相違があるため、せん断に対する照査方法を改善することにより設計合理化を図ることができると考えられる。

そこで、道示Ⅲおよび道示Ⅴのコンクリートが負担できる平均せん断応力度の根拠を確認し、過去の载荷実験データをもとに両式を比較し、その式の精度およびばらつきを検証した。また、上部構造への道示Ⅴ評価式の適用にあたり、各種パラメータの上下限値の妥当性および適用性を確認するとともに、前節に基づき算出した抵抗係数を用いて、現行設計との比較を行った。なお、道示Ⅲおよび道示Ⅴにおける評価式の比較とともに、2012 年制定 コンクリート標準示方書⁵⁾における評価式についても比較検証した。

4. 2 コンクリートが負担できる平均せん断応力度の設定根拠

(1) 道示Ⅲにおける設定根拠

S53 道示Ⅲの制定時の改訂資料⁶⁾によれば、ヨーロッパ委員会(CEB)の勧告により、コンクリートが負担できるせん断応力度は S53 道示Ⅲ以前に用いた値より小さいことが示されており、CEB が示したせん断強度式を検討し、式(4.1)のとおり許容せん断応力度 τ_a （現在のコンクリートが負担できるせん断応力度 τ_c ）を決定したとされている。なお、CEB の式の適用範囲は、コンクリートの設計基準強度が 50N/mm² 以内である。図-4.1 に、式(4.1)の計算値と道示Ⅲとの比較を示す。コンクリートの設計基準強度が 60N/mm² 以下では、式(4.1)と道示Ⅲは、ほぼ同じ値であるが、60N/mm² を超える場合、道示Ⅲでは上限値を設けているため両者の乖離が大きくなる。

$$\tau_a = f_{cd1} / 1.7 \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

ここに、

$$f_{cd1} = 0.6 f_{cd}$$

$$f_{cd} = 0.2 \sigma_{ck}^{2/3} / \gamma_c$$

τ_a : S53 道示の許容せん断応力度(N/mm²)

f_{cd1} : 許容平均せん断応力度(終局荷重作用時)(N/mm²)

f_{cd} : コンクリートの引張強度(N/mm²)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)

γ_c : コンクリートの材料安全係数(=1.5)

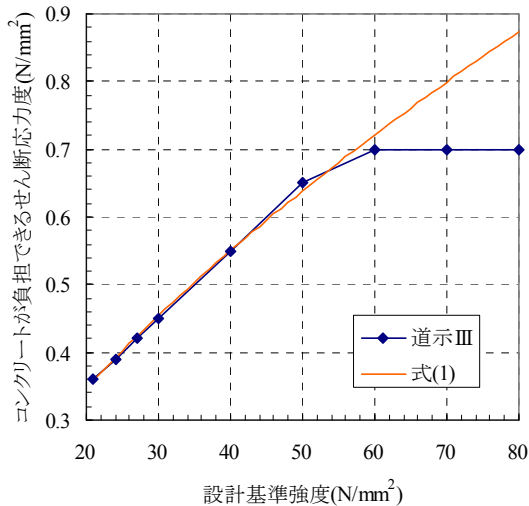


図-4.1 道示Ⅲと式(4.1)の比較

(2) 道示Vにおける設定根拠

文献7)によると、H8 道示で規定された道示Vのせん断耐力式は、合計34体の大型RCはりによるせん断実験結果に基づいているとされる。この実験結果からコンクリートが負担できるせん断応力度の平均値を算定し、近似的に式(4.2)が示されている。さらに式(4.2)から、設計の安全側の配慮により2倍の標準偏差を引いた値を、道示Vにおける設計値としている。

$$\tau_c = 0.72 \times d^{-0.33} \times \left(\frac{24}{\sigma_{ck}}\right)^{-1/3} \times \left(\frac{1.2}{p_t}\right)^{-1/3} \dots\dots\dots (4.2)$$

ここに、

- d : 有効高さ(m)
- σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)
- p_t : 引張鋼材比(%)

文献7)では、その標準偏差が示されていないため、有効高さを1.0m、引張鋼材比を0.3%とし、道示Vの値に近似して求めた。近似式は、図-4.2に示すとおり道示Vの τ_c 値とほぼ同じ値である。この基準式は、式(4.3)で示され、実験結果に対する標準偏差は0.118である。

$$\tau_c = 0.346 \times d^{-0.33} \times \left(\frac{24}{\sigma_{ck}}\right)^{-1/3} \times \left(\frac{0.3}{p_t}\right)^{-1/3} \dots\dots\dots (4.3)$$

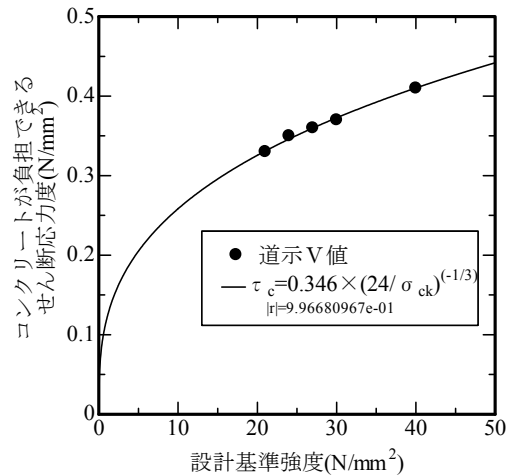


図-4.2 道示Vと式(4.3)の比較

(3) コンクリート標準示方書における設定根拠

コンクリート標準示方書に示されているコンクリートが受け持つせん断耐力は、式(4.4)として示されている。この評価式は、せん断補強鉄筋を用いないRCはりの載荷試験結果から導かれた二羽らの提案式⁸⁾をもとに算出されたものである。二羽らの提案式はせん断スパン比の項が含まれているが、式(4.4)ではこの項を無視している。この項の代わりとして、 f_{vcd} に上限値を設け、安全係数を考慮することにより、安全側に設定している。

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b \dots\dots\dots (4.4)$$

$$f_{vcd} = 0.23 \sqrt[3]{f'_{cd}} \quad \text{ただし, } f_{vcd} \leq 0.72 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = \sqrt[3]{1000/d} \quad \text{ただし, } \beta_d \leq 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v} \quad \text{ただし, } \beta_p \leq 1.5$$

$$\beta_n = \sqrt{1 + \sigma_{cg} / f_{vtd}} \quad \text{ただし, } \beta_n \leq 2$$

$$f_{vtd} = 0.23 f'_{cd}{}^{2/3}$$

$$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$$

ここに、

V_{cd} : コンクリートが負担するせん断耐力(N)

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度(N/mm²)
 コンクリートの設計基準強度 f_{ck} を材料係数($\gamma_c = 1.3$)で除した値

b_w : 腹部の幅(mm)

d : 有効高さ(mm)

γ_b : 一般に1.3としてよい

σ_{cg} : 断面高さの1/2の高さにおける平均プレストレス (N/mm²)

A_s : 引張側鋼材の断面積(mm²)

式(4.4)において、式(4.3)の書式にあわせてコンクリートが負担できるせん断応力度の項を抽出すると、式(4.5)になる。なお、式(4.3)は設計の安全側の配慮として2倍の標準偏差を考慮していることから、式(4.4)に示される材料係数 γ_c を考慮した。式(4.3)と式(4.5)は係数や部材の寸法効果の乗数が異なるものの、考慮されているパラメータは同じである。

$$\tau_c = 0.354 \times d^{-0.25} \times \left(\frac{24}{\sigma_{ck}} \right)^{-1/3} \times \left(\frac{0.3}{p_t} \right)^{-1/3} / \gamma_b \dots (4.5)$$

4.3 平均せん断応力度の各評価式のばらつきおよび確率分布

道示Ⅲ、道示Ⅴ及びコンクリート標準示方書に示されているコンクリートが負担できる平均せん断応力度式のばらつきを評価するため、既往の実験結果を基に各評価式を整理した。実験結果は、道示Ⅴの基になった34体の載荷試験結果^{8),9),10),11),12),13)}に加え、土木研究所で過去に実施した26体の載荷試験結

果^{13),14)}を追加し、60体のデータとした。なお、追加データの抽出条件は、せん断補強鉄筋を有しないRC構造であること(プレストレスが入っていない)、引張鋼材の種類は問わない、単純はりの二点集中載荷であること、 a/d が3.0であることとした。60体のパラメータの範囲は、有効高さ0.135~3.000m、引張鋼材比0.14~2.84%、コンクリートの圧縮強度は10.4~55.5N/mm²である。

図-4.3に各評価式の計算値と実験値を比較したものを示す。図-4.3(a)は、計算値に対して実験値が0.8~4.5倍と幅広く分布している。特に有効高さ1.0m以上の場合、両者の乖離が小さく、評価式が過大評価される場合もある。逆に有効高さ0.25m以下の場合や引張鋼材比が2.5%以上の場合、コンクリート圧縮強度50N/mm²以上の場合では、両者の乖離が3~4倍あり、評価式が過小評価される傾向にある。これは、道示Ⅲの解説に示されているとおり、コンクリート橋上部構造に使用される部材は、下部構造のそれと比較して有効高さが小さく、また引張主鉄筋比も大きいためと考えられる。一方、図-4.3(b)

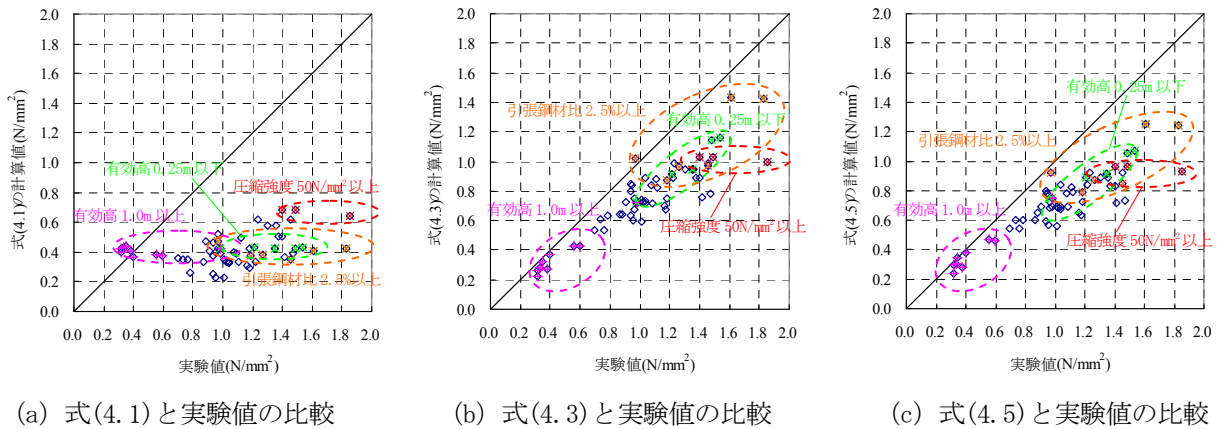


図-4.3 各評価式の計算値と実験値の比較

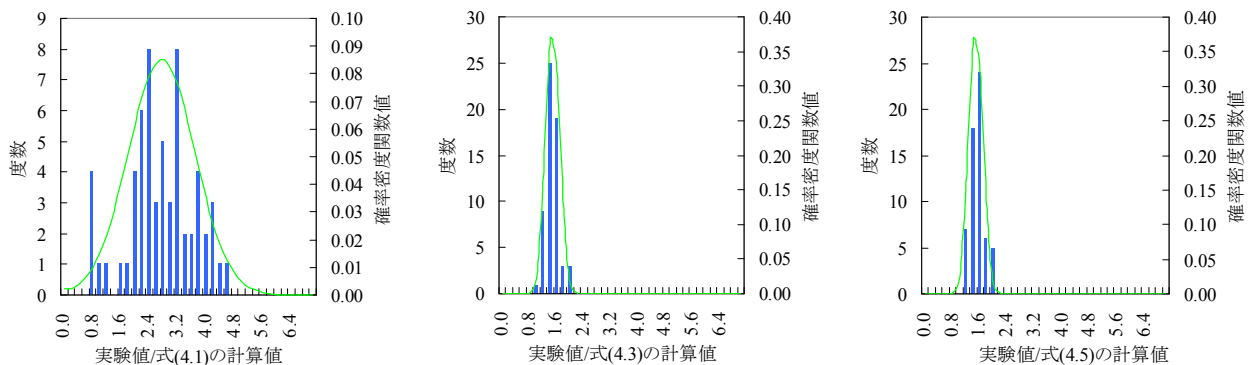


図-4.4 各評価式の計度数分布と確率分布

表-4.1 統計分析結果

		道示Ⅲ	道示Ⅴ	コンクリート 標準示方書
正規 分布	平均	2.653	1.380	1.439
	変動係数	35.3%	13.9%	15.6%
	標準偏差	0.936	0.192	0.225
	分散	0.088	0.037	0.050

は、計算値に対して実験値が1.4倍程度の範囲で直線状に分布しており、各パラメータの影響を適切に考慮されていると考えられる。図-4.3(a)に対し、過大や過小評価している範囲が小さく、より安全かつ合理的な設計ができると考えられる。図-4.3(c)は概ね図-4.3(b)と同様の傾向である。

図-4.4および表-4.1に、各評価式のばらつきを評価するため統計分析した結果を示す。ばらつきは、各評価式ともに正規分布に従うものとした。式(4.1)は、評価式にて算出した計算値に対する実験結果の比率の平均値が2.65倍となっており、前述同様、必ずしも実験値の条件（有効高さや引張鋼材比等）が式(4.1)の範囲に適合していないものも含んでいる可能性があることを付記しておく。式(4.3)および式(4.5)は概ね同様の傾向であるが、式(4.5)のほうがややばらつきが大きい。

4.4 道示Ⅴのせん断耐力式の修正

道示Ⅴのせん断耐力式は下部構造を対象としており、そのまま上部構造に適用できない。そこで、以下の観点で修正検討した。

(1) 軸力の影響

道示Ⅴのせん断耐力式では、対象としている鉄筋コンクリート橋脚のように、正負交番荷重を受け塑性化が生じるような部材に対しては、軸方向圧縮力がコンクリートの平均せん断応力度に及ぼす影響について十分に検討をされていないため、この影響を見込んでいない。一方、コンクリート橋上部構造には、主たる塑性化を許容しない設計としているため、現行どおり軸力の影響を見込んで設計することが妥当であると思われる。

ここで、道示Ⅴ式のコンクリートが負担できるせん断耐力は、前節より式(4.6)、式(4.7)として表すことができる。

$$S_c = \tau_c \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (4.6)$$

$$\tau_c = 0.346 \times d^{-0.33} \times \left(\frac{24}{\sigma_{ck}} \right)^{-1/3} \times \left(\frac{0.3}{\rho_t} \right)^{-1/3} \dots\dots\dots (4.7)$$

軸力の影響を見込む方法として、次の2つが考えられる。

- ① 道示Ⅲ式のように軸方向圧縮力及びプレストレスの効果を考慮する係数 k を用いて、コンクリートが負担できる平均せん断応力度の式(4.6)を割り増す方法(式(4.8))

$$S_c = k \cdot \tau_c \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (4.8)$$

ただし、 $k = 1 + \frac{M_o}{M_d} \leq 2$

k : 軸方向圧縮力およびプレストレスの効果を考慮する係数

M_o : プレストレス力及び軸方向力によるコンクリートの応力度が部材引張縁で0となる曲げモーメント

M_d : 部材に作用する曲げモーメント

- ② 文献¹⁵⁾のように別途増加分を計算して追加する方法(式(4.9))

$$S_c = \tau_c \cdot b \cdot d + S_d \frac{M_o}{M_d} \dots\dots\dots (4.9)$$

ただし、 $S_c \leq 2.0 \cdot \tau_c \cdot b \cdot d$, $M_o/M_d \leq 1.0$

S_d : 部材に作用するせん断力

軸方向圧縮力及びプレストレスの効果には寸法効果が存在しない¹⁵⁾ことが明らかとなっているため、①の場合は、寸法効果を考慮した τ_c を割増すことになり、プレストレスの効果を過小評価する。したがって、軸力によるせん断耐力の増分を適切に考慮できる②の方法とすることとした。なお文献¹⁵⁾では、割増しの上限を2.5倍としているが、現行の道示やコンクリート標準示方書との整合を考慮して、割増しの上限は2.0倍とした。

(2) 荷重の繰返し作用の影響

前述のとおり、コンクリート橋上部構造には、主たる塑性化を許容しない設計としているため、正負交番荷重の影響については考慮しないものとした。

(3) PC鋼材の引張力のせん断力作用方向の分力

道示Ⅲの斜引張破壊に対する耐力におけるPC鋼材の引張力のせん断作用方向の分力 S_p は、部材の軸方向に配置されているPC鋼材の有効プレストレス力のせん断方向の分力として見込めるため、道示Ⅴ式においても同様にこの効果を考慮するものとした。

(4) 有効高さや引張鋼材比の設定

式(4.7)は、コンクリートの設計基準強度、有効高

さ、引張鋼材比の関数である。引張鋼材比は、通常、中立軸を求め、引張側に配置された鋼材の総面積を用いて計算されるが、張出架設工法によるPC箱桁橋など一部の条件下では柱頭部において全断面圧縮領域が発生し、中立軸による引張鋼材比の算出が困難となる場合がある。よって、本検討では、鉄道における設計事例等を参考とし、中立軸を純断面における図心として引張鋼材比を算出するものとした。有効高さは、引張鋼材比として考慮した図心にて、道示Ⅲ4.3.2に規定に準じて算出した。

(5) 各パラメータの適用範囲

1) 引張鋼材比による効果

道示Vの評価式のばらつきを評価する上で対象としているせん断補強鉄筋を用いない実験データの引張鋼材比の範囲は、0.14%~2.84%である。図-4.5に示すとおり、引張鋼材比が比較的大きい場合においても、概ね実験値と計算値の相関が得られているものの、道路橋示方書およびコンクリート標準示方書にて S_c を算出する際は、引張鋼材比の係数に上限値を設けている。ただし、引張鋼材比による影響は、道示Vとコンクリート標準示方書では異なる上限値を設定している。なお、両基準ともに実験によりその効果の上限が確認されているものではないが、表-4.2に示すとおり設計の思想や工学的な観点から設定されている。

コンクリート橋上部構造において部分係数の検討対象とした橋梁形式の試算結果から、箱桁橋の場合に道示Ⅲに規定する最小鉄筋量を満足するように配置した場合に引張鋼材比が1%を超える場合があること、RC中空床版橋の場合に曲げに必要となる鉄筋

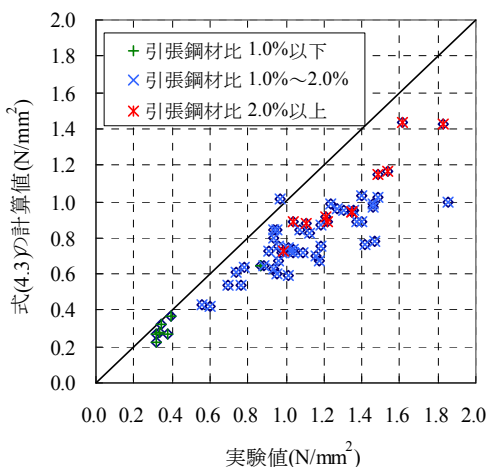


図-4.5 平均せん断応力度の実験値と計算値の比較 (引張鋼材比別)

表-4.2 引張鋼材比による効果(補正係数)の上限値と設定理由

(a) 道示V

上限値	1% ($c_{pt}=1.5$)
設定理由	コンクリートが負担するせん断耐力を増加させるために軸方向鉄筋比を増加させることは、必ずしも好ましくないため ³⁾ 。

(b) コンクリート標準示方書

上限値	3%程度 ($\beta_p=1.5$ (換算: $c_{pt}=2.2$))
設定理由	<ul style="list-style-type: none"> 引張鋼材にはひび割れ幅拡大抑制による骨材のかみ合わせ作用や鉄筋のほぞ作用を期待している。 箱桁等の場合、ウェブから遠く離れた位置の軸方向鉄筋のほぞ作用による効果が期待できないため、二羽氏の論文⁹⁾から引用し、3%以下としている。 岡村氏らの提案式¹⁰⁾にて、引張鋼材比3%以上の場合に危険側になる傾向となったことから、3%を頭打ちにして評価式の検証を行っている。

を配置すると引張鋼材比が3%を超える場合があることなどが分かっている。

コンクリート橋上部構造への道示V式の適用にあたっては、過度な危険側の評価や現行基準における計算結果との乖離を避けて適用範囲を設定する必要がある。

2) 有効高による効果

道示Vとコンクリート標準示方書のせん断耐力評価式において、寸法効果の乗数は異なるものの、いずれも寸法が大きくなる程せん断耐力が低減される。寸法効果の影響について、道示Vでは土木研究所における大型鉄筋コンクリートはりのせん断載荷試験結果や過去の実験結果等を参考にして規定している。

道示各編およびコンクリート標準示方書の寸法効果の係数の範囲は表-4.3に示すとおり、道示IVでは有効高を300mm~10,000mm、道示Vでは1,000mm~10,000mmにて上下限値を定めているのに対して、コンクリート標準示方書では係数の上限値1.5としている。なお、下限値は明示していない。

コンクリート橋上部構造において、補正係数の上限値については、今回の試算対象としていない横桁等の照査にも今後本評価式を適用することが考えられるため、有効高はできるだけ小さく設定しておくことが望ましいと考えられる。ただし、有効高が小さい範囲では、その効果が敏感に耐力に現れるため、この影響を考慮して適用範囲を設定する必要がある。

なお、寸法効果の下限値は、実験ではその効果が確認できないこと、有効高が大きくなるにつれてその効果が鈍感になることなどから、他編に準じて補正係数0.5(有効高10m)を下限値としても、大きく過大評価になることはないと考えられる。

表-4.3 寸法効果(補正係数)の上限値および下限値

	道示IV	道示V	コンクリート 標準示方書
上限値	1.4 (300mm)	1.0 (1,000mm)	1.5 (198mm)
下限値	0.5 (10,000mm)	0.5 (10,000mm)	—

※()内は対応する有効高(mm)を示す。

(6) コンクリート橋上部構造に適用する道示V修正式の提案

以上より、コンクリート橋上部構造に適用する道示V修正式は次のとおりとした。

$$P_s = S_c + S_s + S_p \dots\dots\dots (4.10)$$

$$S_c = \tau_{cV} \cdot b_w \cdot d + S_d \cdot M_o / M_d$$

ただし、 $S_c \leq 2.0 \cdot \tau_c \cdot b \cdot d$, $M_o / M_d \leq 1.0$

$$\tau_{cV} = 0.346 \times d^{-0.33} \times \left(\frac{24}{\sigma_{ck}}\right)^{-1/3} \times \left(\frac{0.3}{p_t}\right)^{-1/3}$$

$$S_s = \sum \frac{A_w \cdot \sigma_{sy} \cdot d(\sin\theta + \cos\theta)}{1.15a}$$

$$S_p = A_p \cdot \sigma_{pe} \cdot \sin\alpha$$

4.5 試算対象橋梁における感度分析

前節までの検討結果をもとに、実橋設計への影響を誌設計により確認した。確認にあたり、引張鋼材比の頭打ちによる現行基準との相違について、現行の制限値(平均せん断応力度)や耐力と比較するとともに、抵抗係数を考慮したコンクリートが負担できるせん断耐力および斜引張鉄筋量の変化について

表-4.4 試算対象橋梁および各パラメータ

形式	中央径間 (m)	引張鋼材比 (%)		有効高 (m)	
		端支点	中間支点	端支点	中間支点
(a) RC 中空床版橋	20	3.42	—	1.008	—
(b) PRC 中空床版橋	20	1.04 (0.57) <1.70>	—	1.035 (0.846) <0.912>	—
(c) PC 中空床版橋	20	0.36 (0.62) <1.03>	—	1.035 (0.846) <0.873>	—
(d) PC 単純ポステンT桁橋	20	0.33 (0.83) <1.24>	—	1.340 (0.936) <0.980>	—
(e) PC 連結ポステンT桁橋	20	0.32 (0.97) <1.37>	0.32 (0.97) <1.37>	1.340 (0.936) <0.973>	1.340 (0.936) <0.973>
	30	0.29 (0.76) <1.13>	0.29 (0.76) <1.13>	1.740 (1.153) <1.218>	1.740 (1.153) <1.218>
	40	0.26 (0.76) <1.13>	0.26 (0.76) <1.13>	2.240 (1.502) <1.568>	2.240 (1.502) <1.568>
(f) PC 連続箱桁橋	40	0.93 (0.45) <1.40>	0.59 (0.56) <1.14>	2.150 (2.079) <2.102>	2.072 (2.100) <2.095>
	80 (側40)	2.13 (1.22) <2.48>	0.66 (0.98) <1.64>	2.650 (2.552) <2.611>	4.742 (4.770) <4.764>
	120 (側80)	1.42 (1.22) <2.68>	0.66 (2.20) <2.87>	3.350 (3.238) <3.261>	6.950 (6.978) <6.970>
(g) PC 連続ラーメン箱桁橋	80 (側40)	1.79 (0.40) <2.21>	0.80 (1.03) <1.84>	2.650 (2.587) <2.618>	4.497 (4.507) <4.503>
	120 (側80)	1.57 (0.51) <2.10>	0.60 (2.01) <2.61>	3.350 (3.263) <3.298>	6.591 (6.619) <6.617>
Max		3.42 (3.42) <3.42>		6.978 (6.978) <6.97>	
Min		0.26 (0.32) <1.03>		1.008 (0.846) <0.873>	

注1) 表中の側40などの表記は、側径間の長さ(m)を表す。

注2) 表中の引張鋼材比および有効高において、RCおよびPRC構造以外の引張鋼材比は鉄筋のみ考慮した値を示し、()内にPC鋼材のみ、< >に鉄筋およびPC鋼材を考慮した値を示す。

表-4.5 荷重組合せおよび荷重係数

設計状況	荷重組合せ	荷重組合せ	荷重係数						
			D	PS	CR SH	L	I	T	EQ
永続作用	D	D+PS+CR+SH	1.00	1.00	0.90 又は 1.10	—	—	—	—
変動作用	D+T	D+PS+CR+SH+T	1.00	1.00	0.90 又は 1.10	—	—	1.00	—
	D+L	D+PS+CR+SH+L+I	1.00	1.00	0.90 又は 1.10	1.00	1.00	—	—
	D+L+T	D+PS+CR+SH+L+I+T	1.00	1.00	0.90 又は 1.10	1.00	1.00	0.80	—
	D+EQ	D+PS+CR+SH+EQ	1.00	1.00	0.90 又は 1.10	—	—	—	0.85
	D+T+EQ	D+PS+CR+SH+T+EQ	1.00	1.00	0.90 又は 1.10	—	—	0.50	0.85

表-4.6 各評価式の抵抗係数および目標信頼性指標

		道示Ⅲ式	道示Ⅴ修正式	新土木学会式 (参考)
抵抗係数	ϕ_c	0.38	0.65 (0.76)	0.26 (0.70)
	ϕ_s	0.67	0.58 (0.63)	0.49 (0.61)
	ϕ_p	0.60	0.58 (0.59)	0.58 (0.59)
目標信頼性指標 β_T		2.13	4.13	7.29

※1 ()外は各評価式の β_T にて算出した抵抗係数, ()内はⅢ編の β_T にて算出した抵抗係数

※2 本検討に用いた抵抗係数を**太字**で示す。

試算した。

試算対象橋梁および対象橋梁のパラメータを表-4.4に、部分係数の検討に用いた荷重組合せおよび荷重係数を表-4.5に示す。

有効高については、現行道示Ⅲに基づき引張鋼材を①鉄筋のみ考慮、②PC鋼材のみ考慮、③鉄筋およびPC鋼材の両者を考慮のいずれかから図心および引張鋼材比を算出し、上記の3ケースから最も斜引

張破壊耐力 ($S_u = S_c + S_s + S_p$) が大きくなる値を用いた。

上記条件に基づき算出した抵抗係数を表-4.6に示す。以降の検討では、この抵抗係数を用いることとし、道示Ⅴ修正式の抵抗係数は道示Ⅲ式の目標信頼性指標 β_T により算出した抵抗係数にて試算した。

道示Ⅴ修正式にて引張鋼材比を頭打ち無しの場合、鋼材比1%を上限とした場合について、平均せん断応力

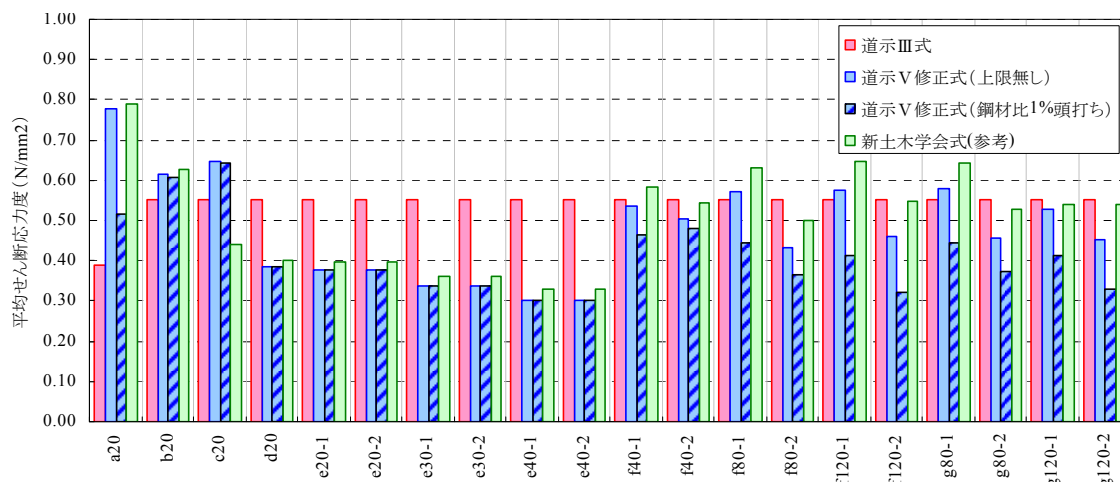
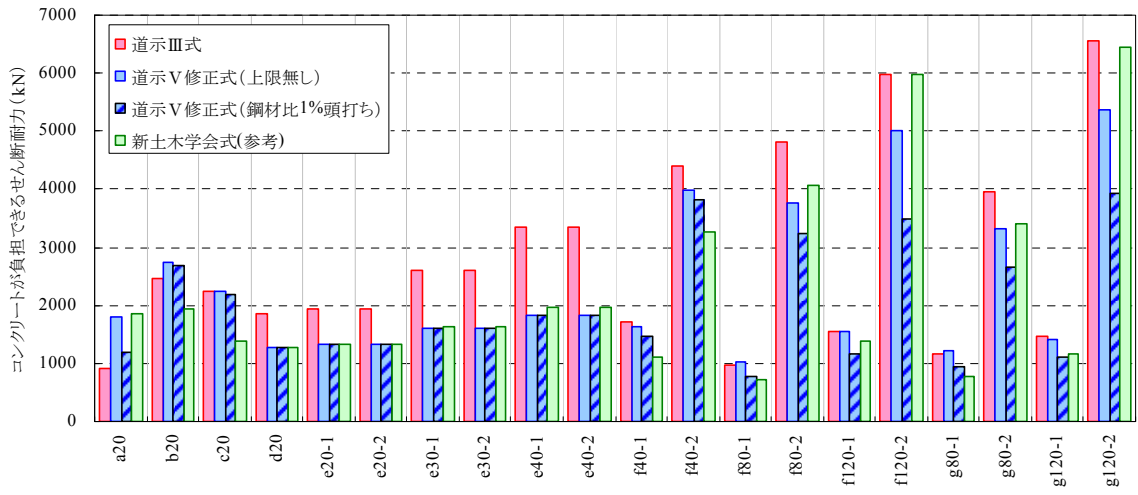
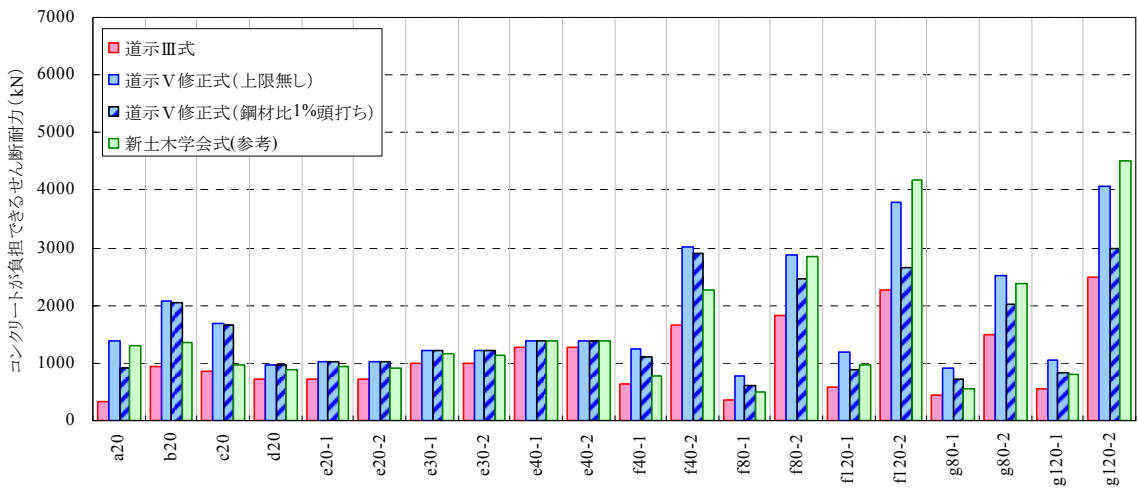


図-4.6 平均せん断応力度の比較

(図中の「-1」は端支点部, 「-2」は中間支点部の照査位置を示す)



(a) 抵抗係数を考慮しない場合



(b) 抵抗係数を考慮した場合

図-4.7 コンクリートが負担できるせん断耐力の比較

(図中の「-1」は端支座位部, 「-2」は中間支座位部の照査位置を示す)

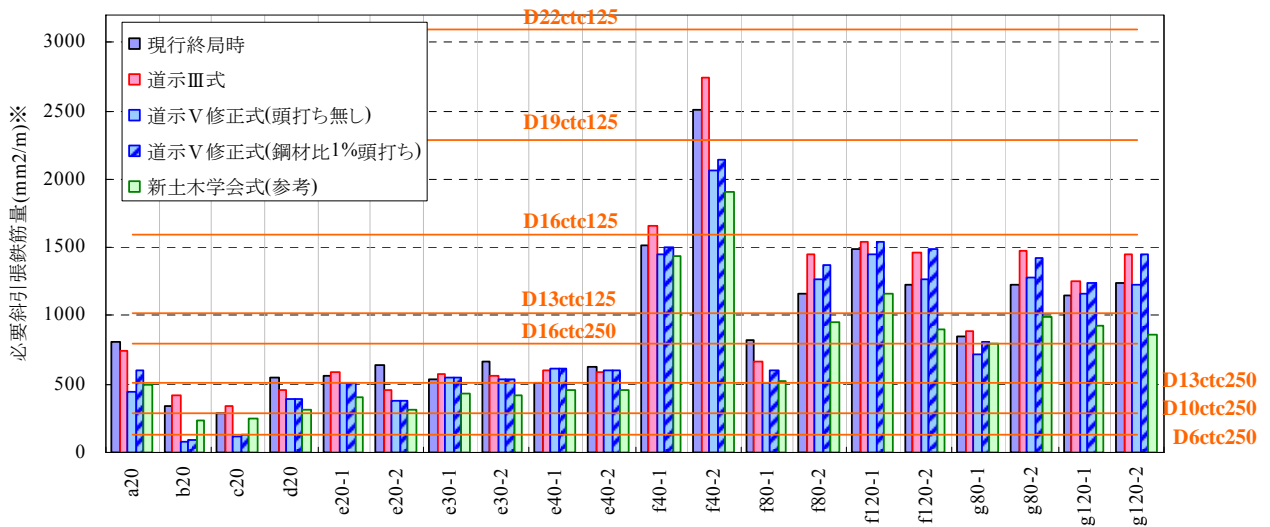


図-4.8 必要斜引張鉄筋量の比較 (抵抗係数を考慮した場合)

(図中の「-1」は端支座位部, 「-2」は中間支座位部の照査位置を示す。鉄筋量は1ウェブ片側あたりの必要鉄筋量 (mm²/m) を示す。)

力度、コンクリートの負担できるせん断耐力（抵抗係数の有・無）、必要斜引張鉄筋量をそれぞれ図-4.6～図-4.9に示す。なお、各図の算出値は前述のとおりのせん断耐力 S_u が最大となる場合のパラメータ（引張鋼材比、有効高）を用いている。

図-4.6に示す平均せん断応力度の比較について、引張鋼材の少ない d および e シリーズのポステン PCT 桁橋や、桁高の高い箱桁橋の中間支点部において道示Ⅲの値に比べ小さくなる傾向にある。T 桁橋は鋼材比が 1%を超えていないため適用範囲の上限による頭打ちの影響はないが、箱桁は引張鋼材比が比較的大きいため頭打ちの影響が顕著に現れる。一方、有効高が低く鋼材比の大きい a シリーズの RC 中空床版橋は、頭打ちを考慮しない場合、道示Ⅲ式より 2 倍程度平均せん断応力度が大きくなる。引張鋼材比 1%の頭打ちを考慮することにより、RC 中空床版橋におけるⅢ編とⅤ編の差は小さくなるものの、箱桁は逆に差が大きくなる。

上記の平均せん断応力度を用いてコンクリートが負担できるせん断耐力を算出したものを図-4.7に示す。図-4.7(a)は抵抗係数を考慮しない場合であり、RC および PRC 構造（a20, b20）を除き、引張鋼材比 1%の頭打ちを考慮しない場合においても道示Ⅲと同等かもしくは小さくなる傾向にある。一方、図-4.7(b)は抵抗係数を考慮した場合であり、引張鋼材比 1%の頭打ちを考慮した場合においても、道示Ⅲのせん断耐力を上回る結果となった。これは、表-4.6から分かるように道示Ⅲと道示Ⅴ修正式の目標信頼性指標 β_T が約 2 倍程度異なっており、道示Ⅲと同等の信頼性を有する構造物を設計しようとした場合には、精度の高い評価式を用いることにより合理化が図れることを示している。

図-4.8は表-4.6に示す抵抗係数を考慮して、各評価式における斜引張鉄筋量を算出したものである。道示Ⅴ修正式を用いることで、評価式の精度向上によりコンクリートの負担できるせん断耐力を大きく評価できる。その結果、斜引張鉄筋量が低減されるが、その影響の度合いを把握するため、現行の終局荷重時における必要斜引張鉄筋量との比較を行った。その結果、一部を除きやや必要鉄筋量は小さくなる傾向にあることがわかった。その程度は、鉄筋径が 1 ランク減少する程度であった。

ここで、現行終局荷重時における必要鉄筋量と道示Ⅲ式の必要鉄筋量とで異なる値となっているが、その要因としては、抵抗係数の算出にあたり目標信

頼性指標 β_T を各対象橋梁における各部位にて算出し、その平均値をコンクリート橋上部構造の斜引張破壊に対する指標としてひとつの β_T にしていることによる。それぞれの β_T は材料のばらつき等から橋種や照査部位によりある程度差があるために、現行に対して鉄筋量が多くなる場合と小さくなる場合が存在する。

以上から、コンクリートが負担できるせん断耐力については道示Ⅲと道示Ⅴ修正式とで構造形式や部位毎に大小関係やその差の大きさが異なるものの、斜引張破壊に対する必要鉄筋量を算出する上では現行と大きな乖離は乗じていない。また、必要斜引張鉄筋量に関しては、引張鋼材比の頭打ちの影響は比較的小さいといえる。

5. まとめ

信頼性設計の考え方にに基づき、試設計により現行設計法による構造物の安全余裕を把握したうえで、目標とする信頼性指標を定め材料等のばらつきを考慮した抵抗係数を試算した。また、せん断耐力評価手法については過去の実験結果や現行のせん断耐力評価式を整理し、合理的な評価式を提案し、実設計への影響を確認した。本研究により得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 道示に規定される照査項目のうち、曲げ破壊耐力、せん断による斜引張破壊耐力とウェブ圧壊耐力、ねじりによる斜引張破壊耐力に対して、道示に基づき設計したコンクリート橋上部構造が有する安全性について、材料や施工の不確実性を踏まえた上で信頼性設計に基づいた評価を行った。さらにこの結果に基づいて目標信頼性指標を設定し、対応する部分係数を提案した。
- 2) せん断耐力評価手法に関して、せん断耐力評価式の見直しにより現行より多くのパラメータを考慮することで、一定の安全余裕を確保しつつ、せん断耐力評価式のばらつきを抑えた合理的な設計を行うことが可能となることが分かった。その傾向はコンクリートが負担できるせん断耐力の大きい、コンクリート断面や支間の大きい部材、もしくはパラメータによる耐力評価式への寄与が大きい、部材有効高が小さく引張鋼材が多い部材で顕著となることが分かった。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編，2012.3
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編，1978.1
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012.3
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1998.12
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編，2013.3
- 6) (社)日本道路協会 橋梁委員会 示方書小委員会 コンクリート橋分科会：道路橋示方書コンクリート橋の詳説，橋梁と基礎，Vol.13, No.4, pp.33～99, 1979.4
- 7) 塚淳一，運上茂樹：インテリジェントセンサを用いた橋梁地震被災度判定手法の開発に関する研究，土木研究所報告，No.213, 2009.3
- 8) 二羽淳一郎，山田一宇，横沢和夫，岡村甫：せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，第372号，1986.8
- 9) 井畔瑞人，塩屋俊幸，野尻陽一，秋山暉：等分布荷重下における大型鉄筋コンクリートはりのせん断強度に関する実験的研究，土木学会論文集，第348号，1984.8
- 10) 建設省土木研究所：鉄筋コンクリート部材のせん断実験データ集，土木研究所資料2045号，1984.3
- 11) P.J.Taylor：Shear strength of large beams, Proc. Of ASCE ST11, 1972
- 12) G.N.J. Kani：How safe are our large reinforced concrete beams, Journal of ACI, March, 1967
- 13) 建設省土木研究所：大型RCはり供試体のせん断強度に関するデータ集，土木研究所資料第3426号，1996.1
- 14) 建設省土木研究所：高強度コンクリート部材の設計法に関する共同研究報告書—高強度コンクリート PC はり部材の曲げせん断強度に関する調査—，共同研究報告書第122号,1995.3
- 15) 建設省土木研究所：高強度コンクリート部材の設計法に関する共同研究報告書—高強度コンクリートを用いたプレストレストコンクリート道路橋の設計指針(案)—，共同研究報告書第138号，1995.11
- 16) Hajime OKAMURA, Takeshi HIGAI：PROPOSED DESIGN EQUATION FOR SHEAR STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITHOUT WEB REINFORCEMENT, Proc. Of JSCE, No.300, 1980.8

STUDY ON DESIGN RATIONALIZATION OF LONG SPAN CONCRETE HIGHWAY BRIDGES

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2012

Research Team : Bridge and Structural

Technology Research Group

Author : KIMURA Yoshitomi

WADA Yoshinori

Abstract :

Partial factor design method is studied in this research to establish reliability design method for rational concrete highway bridge design. Especially, this study is aimed to propose rational verification method of large cross section and long span bridge members under shear force. For this purpose, reliability of bridge members designed by current specifications for highway bridges under shear force is verified through numerical analysis and results of previous experiments. Based on these studies, partial factors for design of large cross section and long span bridges are proposed in this report.

Key words : *Concrete highway bridge design, Partial factor design, shear force*