

### 3. 3 性能の抽出と性能照査型設計への手がかり

#### —性能照査型設計に向けての視点と提案例—

##### 3. 3. 1 活動の主旨・目的

現在行われている設計方法（仕様規定型）から性能照査型設計に移行すべく、さまざまな機関において検討が行われている。しかしながら、鋼橋の性能について明確に示されているものがなく、性能設計のイメージが湧かないのが現状である。このため、設計者にとって性能照査型設計というものが身近なものに感じられていないようである。

設計WGでは、設計者が少しでも性能照査型設計を身近に感じられるよう、設計者の立場から鋼橋の設計における性能の抽出等を行い、性能照査型設計への手がかりとなるよう資料作りを目的とした。

##### 3. 3. 2 活動の方法

鋼橋の設計を以下に示す10の項目に分類し、それぞれに対し要求される性能を設定して、性能設計のための視点を抽出した。また、現行規定との違い、性能設計に移行したときの効果およびその設計方法や検証方法等を記述し、性能設計を行ううえで設計者の手がかりとなるような資料作成を目的とした。

- |           |          |
|-----------|----------|
| ①コンクリート床版 | ⑥付属物     |
| ②主桁       | ⑦床組および横構 |
| ③補剛材      | ⑧鋼床版     |
| ④連結       | ⑨橋梁全体    |
| ⑤支承       | ⑩その他     |

##### 3. 3. 3 活動成果

###### ① コンクリート床版

性能規定		輪荷重を直接受けとめて支持し、これを床組みもしくは主桁に伝える。また安全、快適な走行性と美しい景観を追求した構造とする。
性能照査設計に向けての視点	構造一般	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ RC 床版の場合、床版支間 3 m 以上は本当に不可能か？</li> <li>・ 床版を横桁に接着させる構造とした場合、主桁間隔の拡大は不可能か？</li> <li>・ PC 床版と鋼桁の複合構造化の明確な定義は必要ないか？</li> </ul>
	荷重等に対して	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 非合成桁の床版の荷重の分配効果の期待はできないか？</li> <li>・ 床版の横荷重に対する抵抗の期待はできないか？</li> <li>・ せん断流による床版への影響は無視してよいか？</li> </ul>
	材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鉄筋コンクリートのヤング係数比（合成 7、非合成 1.5）は妥当か？</li> <li>・ 12mm 以下の鉄筋の使用は不可能か？</li> </ul>

施工性、メンテナンス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ RC 床版のプレキャスト化は不可能か？</li> <li>・ 現場作業のプレハブ化は不可能か？</li> </ul>
他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 合成（混合）床版の規定の必要性はないか？</li> </ul>

◆荷重の分配効果	
現行規定	<p>【道示Ⅱ鋼橋編 9.1.2】 鋼桁と鉄筋コンクリート床版とが一体となって働くように、鋼桁のフランジと版とを適当なずれ止めにより合成した桁を合成桁としている。</p> <p>【道示Ⅱ鋼橋編 9.1.3】 版のコンクリートを桁の断面に算入させ、合成作用としてとりあつかっている。</p>
性能規定	非合成桁の場合でも、コンクリート床版と主桁の結合状態により、床版の荷重分配効果を期待してもよい。
提案	非合成桁 PC 床版でスタッドジベルを設置した場合には、床版の断面を主桁の断面に算入させる。または、別の方法で床版へ荷重を分配させる。
効果	主桁断面の軽量化 鋼重の減少

◆鉄筋コンクリートのヤング係数比	
現行規定	<p>【道示Ⅱ鋼橋編 6.1.2】 (1)鉄筋コンクリート床版の鉄筋コンクリートのヤング係数比は、合成桁としての主桁作用を計算する場合を除いて15とする。</p>
性能規定	
提案	【道示Ⅱ鋼橋編 9.2.2】において、合成桁の場合は7としているが、非合成桁の場合の15は過剰ではないか？またその根拠も不透明である。
効果	鉄筋量の減少

## ② 主桁

性能規定	橋に加わる各種の荷重を下部構造に伝達する強度を有し、かつ他の部材の損傷や使用者に不快感を与えない剛度を有すること。
------	---

性能照査設計に向けての視点	一般	<ul style="list-style-type: none"> <li>・橋種（主桁形式）は設計条件と建設費に応じて適切か？</li> <li>・主桁本数は適切か？</li> <li>・径間数は適切か？より連続桁化の可能性はないか？</li> <li>・主桁の平面的配置、縦断的配置は適切か？</li> <li>・主桁と下部工の連結は適切か？支承タイプ or 剛結タイプの選択。</li> <li>・曲線桁への対処は適切か？あるいは過大な対処ではないか？</li> <li>・使用鋼材の選択は適切か？（高張力鋼、耐候性鋼、高靱性鋼、亜鉛メッキ用鋼板、LP鋼板、…）</li> <li>・建設費削減の視点は十分か？改善点はないか？</li> <li>・耐久性向上の視点は十分か？改善点はないか？</li> <li>・耐震性向上の視点は十分か？改善点はないか？</li> <li>・景観性向上の視点は十分か？改善点はないか？</li> </ul>
	断面構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計・製作・輸送・架設ならびに維持補修上、適当な断面構成か？</li> <li>・通常の鈹桁・箱桁以外の断面形状は考えられないか？</li> <li>・型鋼の利用はできないか？例えばH型鋼の合成桁は？</li> <li>・鈹桁・箱桁の混合は考えられないか？（各主桁毎に変化、あるいは橋軸方向に変化）</li> <li>・桁高は経済的で製作・輸送・架設面で適当か？</li> <li>・連結位置は輸送・架設面で適当な部材長および重量か？</li> <li>・鈹桁のフランジ幅一定（ガイドライン）は適当か？</li> <li>・一部材一断面（ガイドライン）は適当か？</li> <li>・箱桁の腹板間隔は適当か？腹板間隔一定は本当に適当か？</li> <li>・箱桁の断面形状は矩形で適当か？</li> <li>・箱桁の縦リブ本数は削減できないか？</li> <li>・上フランジは床版で代替できないか。</li> <li>・下フランジに鋼と協力する部材・材料はないか？</li> <li>・腹板を削減する方法はないか？</li> <li>・LP鋼板の各部材への適用は考えられないか？</li> </ul>
	設計計算	<ul style="list-style-type: none"> <li>・許容応力度法ではない設計法の適用は考えられないか？別な設計法を取ることによる効果はないか？</li> <li>・非合成桁と合成桁の選択は適切か？</li> <li>・非合成と合成桁の中間的な考え方はないか？</li> <li>・設計荷重状態が適切か？過大な荷重状態を想定してないか？</li> <li>・設計モデルが適切か？過剰に正確なモデル化を想定してないか？</li> <li>・解析手法が妥当か？骨組み解析が適切か？</li> <li>・部材設計法が妥当か？</li> <li>・施工時の操作による経済的な設計はないか？例えばジャッキ操作、架設荷重など</li> <li>・曲線桁などの特殊性を考慮した設計になっているか？</li> <li>・力学的に変形や応力は適切か？問題はないか？</li> <li>・キャンバー計算する時の剛度は適切か？</li> </ul>

その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・桁端部における張出し量は、主桁および支承の構造のほか伸縮装置、排水装置、落橋防止装置、ジベル等の取合いを考慮しているか？</li> <li>・付属物の整合を十分図っているか？改善点はないか？</li> <li>・桁端の断面剛度は耐震性として適当か？より剛な断面で耐震性向上を図れないか？</li> <li>・耐腐食性に視点で板厚増は考えられないか？</li> </ul>
-----	---

<b>◆腹板の鋼種の選定</b>	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編】 作用応力度が許容応力度以下になるように鋼種および板厚を選定。実質的にフランジと同等の材質となる。
性能規定	主桁部材全体として、必要な耐力と変形性能を有する。
提案	ハイブリッド断面？（フランジは高強度鋼種、腹板は低強度鋼種）の採用
効果	低強度鋼種の選択によるコスト削減

<b>◆フランジ幅の選定</b>	
現行規定	【鋼道路橋設計ガイドライン（案）】 フランジ幅は桁内を通して一定とする。
性能規定	
提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1部材内は一定とするが桁内を通して必ずしも一定とはしない。</li> <li>・また板幅を変化させる場合、ボルト締めはテーパカットは必ずしも必要としない。</li> <li>・上フランジは床版との関係でも考慮する必要があるが、下フランジは一定の制約は少ない。</li> </ul>
効果	最適な断面構成によるコスト削減
設計方法	従来と同等。 ただし、テーパ部をカットしない事による応力的に問題がないかの確認は必要

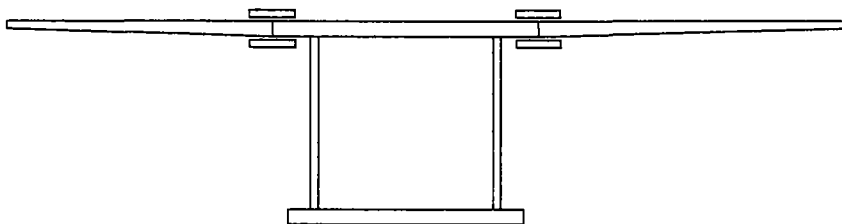
<b>◆フランジのテーパ幅の採用</b>	
現行規定	【鋼道路橋設計ガイドライン（案）】および【公団公社の標準設計】 フランジ幅は一定とする。
性能規定	

提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断面力に合わせてフランジの幅にテーパをつける。(昔の首都高タイプ?)</li> <li>・現在の工場はNC化され、製作は幅一定と同等にできるのでは?</li> </ul>
効果	最適な断面構成によるコスト削減
設計方法	従来と同等。

<b>◆高張力鋼の採用</b>	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編】 SM570キロ級まで
性能規定	
提案	高張力鋼 (HT690、HT780) の採用
効果	重量削減

<b>◆腹板の薄板化</b>	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編】 桁高と水平補剛材本数から最小厚を規定
性能規定	
提案	合成桁では中立軸が上フランジに近いこと、腹板の上フランジ側を固定支持とした座屈係数を採用することによる腹板の薄板化 (すでに少主桁橋で実施済み)。

効果	重量削減、コスト削減
----	------------

◆鋼床版の断面方向へのLP鋼板の採用	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編】 最小板厚の規定 各公団公社の標準設計 標準板厚12mmの採用
性能規定	
提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼床版のデッキプレートの断面方向にLP鋼板を使用する。</li> <li>・有効幅の外、また完成系のみ採用する部材は、板厚を削減。</li> <li>・主桁腹板付近の剛性を上げ角折れを低減</li> </ul>  <p>The diagram shows a cross-section of a steel girder. It features a top flange (deck plate) supported by two vertical web members. A horizontal LP steel plate is shown attached to the top flange, extending across the width of the deck. The plate is secured with bolts or welds at the ends. The web members are connected to a bottom flange.</p>
効果	主桁腹板部の角折れ防止による耐久性向上 重量削減、コスト削減
備考	海外では、箱桁の断面方向に使用した事例有り？

◆桁端部の剛性の強化	
現行規定	作用断面力に応じた断面構成
性能規定	
提案	震災による被害状況を踏まえて、桁端における主桁（特に腹板）や支点上補剛材および端横桁（対傾構）の剛性を強固なものにする。
効果	耐震性の向上

◆景観を考慮した箱桁の主桁配置	
現行規定	【日本道路公団・標準設計図集】 箱桁の主桁配置について、3タイプについて経済性比較を行い、結果として2箱桁1中桁（？）タイプを選択している。

性能規定	
提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1箱桁ブラケットタイプを採用する。</li> <li>・ 桁高の高い主桁を内側に押し込め、桁高の低い側縦桁を外側に出し、スレンダーな景観をねらう。</li> </ul>
効果	景観性の向上
備考	参考図書：「BRUCKEN ブリュッケン」レオンハルト

### ③ 補剛材

性能規定	<p>補剛材は、載荷される荷重によって圧縮応力やせん断応力が作用している腹板の座屈を防ぐための部材である。</p> <p>支点上の垂直補剛材は、腹板を通して伝達されたせん断力を、支承に滑らかに伝えるための部材であり支点反力による補剛材とウェブの柱の座屈を防ぐものである。</p>	
性能照査設計に向けての視点	垂直補剛材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 垂直補剛材の配置は適当か？</li> <li>・ その間隔は適当か？</li> <li>・ 剛度は適当か？</li> <li>・ 鋼種は適当か？</li> <li>・ 板厚は適当か？</li> <li>・ 引張フランジとの間隔は適当か？</li> </ul>
	水平補剛材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水平補剛材の配置は適当か？</li> <li>・ 水平補剛材の剛度は適当か？</li> <li>・ 低強度の鋼種の選択はできないか？</li> </ul>
	荷重集中点の補剛材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 柱としての有効断面は適当か？</li> <li>・ 腹板と垂直補剛材との応力分担が明確できないか？</li> <li>・ 垂直補剛材は三角形に考えられないか（鉛直方向応力度分布、せん断応力度分布により）？</li> </ul>
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 垂直補剛材、水平補剛材は必要か（波形ウェブを使用する）？</li> <li>・ その場合、コスト低減となるか？</li> </ul>

#### ◆垂直補剛材間隔

現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 8.5.1】 垂直補剛材の配置およびその間隔について規定されている。最大アスペクト比（縦横比） $\alpha = 1.5$
性能規定	せん断力の小さい支間中央部はアスペクト比を大きくすることができる。（ $\alpha = 3.0$ など）
提案	少補剛設計
効果	材片数の低減、製作の省力化

備考	日本道路公団において採用実績がある。
----	--------------------

<b>◆垂直補剛材の材質</b>	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 8.5.2】 垂直補剛材は、腹板の鋼種にかかわらずSM400級の鋼種を用いてよい。
性能規定	フランジが降伏するまでの腹板の耐荷力の保持
提案	取付位置の応力が降伏点以内に入る材質
効果	低強度材質に使用するコスト削減

<b>◆水平補剛材の材質</b>	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 8.6.2】
性能規定	フランジが降伏するまでの腹板の耐荷力の保持
提案	取付位置の応力が降伏点以内に入る材質
効果	低強度材質の使用によるコスト削減

<b>◆荷重集中点の補剛材</b>	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 8.7.2】 腹板と垂直補剛材との応力の分担が必ずしも明確でなく、安全側をとって、全集中荷重を垂直補剛材が受け持つと仮定するように規定している。
性能規定	腹板と垂直補剛材は、全反力を受け、応力の分担が明確化する。
効果	合理化かつ経済性向上
設計方法	応力解析して決める。

<b>◆電炉鋼材の広幅平鋼の使用</b>	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 8.5.2、8.6.2】 垂直補剛材は、腹板の鋼種にかかわらずSM400級の鋼種を用いてよい。



性能規定	各部材の性能規定による
提案	工場製作性と製作コストにより、高炉材と電炉材の使い分け
効果	工場の製作性の向上
備考	現状の問題点：(確認必要) ①黒皮が厚く溶接性が悪く、溶接部の黒皮を落とす作業が発生 ②コバ丸みはあるが、塗装のためにさらに面取りが必要

#### ④ 連結

性能規定		<p>輸送あるいは架設の制約上、構造物を分割した場合、溶接や高力ボルト等を用い構造物を連結する。</p> <p>連結とは分断された部材相互の接続を意味する。この連結部が構造上弱点とならないよう注意する必要がある。</p>
性能照査設計に向けての視点	一般	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応力の伝達が明確か？</li> <li>・設計作用力は適当か？</li> <li>・高力ボルト以外に連結方法はないか？</li> <li>・溶接と高力ボルトの併用は有効か？</li> <li>・分割された部材は輸送、架設が可能な大きさ(重さ)にする</li> </ul>
	溶接	<ul style="list-style-type: none"> <li>・完全溶け込み溶接部を部分溶け込み溶接またはすみ肉溶接にできないか？(横桁仕口等)</li> <li>・溶接長やサイズは過大(過小)ではないか？(溶接ひずみやわれに注意する)</li> </ul>
	高力ボルト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・摩擦接合以外に適当な接合方法はないか？</li> <li>・摩擦接合用高力ボルトの許容力<math>\rho a</math>は適当か？(大きくとれないか)</li> <li>・高力ボルトピッチは大きすぎ(小さすぎ)ないか？</li> </ul>
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧縮力のみ作用する箇所について、部材間の支圧で力を伝達できないか？</li> </ul>

#### ◆設計断面力

現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 4.1.1】 主要部材の連結は作用力によるほか、原則として母材の全強の75%以上の強度をもつように設計するものとする。ただし、せん断力については作用力を用いてよい。
性能規定	主要部材の連結は作用力を用いて設計する。
提案	主要部材の連結は作用力を用いて設計するが、母材に対しあまりにも連結部が小さいと、剛性が急変することになり応力集中等、力の流れがスムーズにならないため十分検討を行う必要がある。

効果	連結部断面または、溶接サイズを小さくできる。
----	------------------------

◆溶接、高力ボルトの併用	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 4.1.2】 応力に垂直なすみ肉溶接と高力ボルト摩擦接合とは併用してはならない。
性能規定	連結性能が満足されるのであれば、応力に垂直なすみ肉溶接と高力ボルト摩擦接合とを併用してもよい。
効果	現行規定では両者の変形性状や応力分担の関係が未検討であるため併用を禁じているが、変形性状や応力分担の関係が明らかになれば、適用範囲が広がる可能性がある。

◆すみ肉溶接の脚およびサイズ	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 4.2.4】 主要部材の応力を伝えるすみ肉のサイズは 6mm 以上とし、下式を満足する大きさとするのを標準とする。 $t_1 > S \geq \sqrt{2t_2}$
性能規定	計算上必要なすみ肉サイズとする。
効果	すみ肉サイズを幅広く選定できる。 ただし、部材の厚さに比べ溶接サイズが小さすぎると急冷によるわれを起こしやすく、また溶接サイズが大きすぎると溶接ひずみが大きくなったり、母材の組織が変化する範囲が広がるので、入熱量の管理を十分に行う必要がある。

◆すみ肉溶接の最小有効長	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 4.2.5】 主要部材のすみ肉溶接の有効長は、サイズの 10 倍以上、かつ、80mm 以上としなければならない。
性能規定	部材を連結するうえにおいて必要な溶接長を用いる。
提案	応力上必要な溶接長が短すぎると、溶接部が急冷されてわれ等の欠陥が生じるため、予熱を十分に与えたり、われの少なくなる鋼材または溶接材料を選定する必要がある。応力集中にも注意する必要がある。
効果	溶接長が短くなることにより、不要に部材長を延ばす必要がない。

◆摩擦接合用高力ボルトの許容力																	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 2.2.3】 摩擦接合用高力ボルトの許容力 $\rho a$ (kgf)																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>F8T</th> <th>F10T</th> <th>S10T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M20</td> <td>3,100</td> <td>3,900</td> <td>3,900</td> </tr> <tr> <td>M22</td> <td>3,900</td> <td>4,800</td> <td>4,800</td> </tr> <tr> <td>M24</td> <td>4,500</td> <td>5,600</td> <td>5,600</td> </tr> </tbody> </table>		F8T	F10T	S10T	M20	3,100	3,900	3,900	M22	3,900	4,800	4,800	M24	4,500	5,600	5,600
		F8T	F10T	S10T													
	M20	3,100	3,900	3,900													
M22	3,900	4,800	4,800														
M24	4,500	5,600	5,600														
性能規定	摩擦面のすべり係数別に摩擦接合用高力ボルトの許容力 $\rho a$ を設定する。 $\rho a = 1/\nu * \mu * N$ $\nu$ : 継手のすべりに対する安全率 $\mu$ : すべり係数 $N$ : 設計ボルト軸力																
提案	摩擦面のすべり係数を大きくする <ul style="list-style-type: none"> <li>・塗料の開発</li> <li>・粗度の改善</li> </ul>																
効果	ボルト本数の低減																

◆高力ボルトの最小中心間隔	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 4.3.8】 M24…85mm M22…75mm M20…65mm もしくはボルト径の3倍
性能規定	締付け可能な距離とする。
提案	締付け機やワッシャーの形状を考慮し、締付け可能なボルト配置とする
効果	添接板を小さくできる

◆高力ボルトの最大中心間隔	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 4.3.9】 M24…p=170mm or 12t g = 24t or 300mm M22…p=150mm or 12t g = 24t or 300mm M20…p=130mm or 12t g = 24t or 300mm
性能規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ボルト間材片の局部座屈を起こさせない</li> <li>・材片の密着性の確保</li> </ul>
提案	現行規定で片面のみの添接にも採用されていることを考えれば、添接板を両面に当てる場合、さらに最大間隔を大きくとれるはずである。 また、引張部材での座屈はありえないため圧縮部材より最大間隔を大きくできると考えられる。

効果	ボルト配列の自由度が広がる
備考	ボルト間隔が広すぎると材片同士の肌隙が生じ、防錆上問題がある。また、応力の流れも均一とならない恐れがあるので注意が必要となる。

### ⑤ 支承

性能規定		上部構造から伝達される荷重を確実に下部構造に伝達し、地震、風、温度変化などに対して安全かつ耐久性を確保する。また、温度変化や弾性変形による上部構造の伸縮、たわみによる回転などに対して忠実に作動させなければいけない。
性能照査設計に向けての視点	一般	<ul style="list-style-type: none"> <li>・橋全体系を考え、適切な支承を選定する。</li> <li>・支承の種類、支持条件が適切か？</li> <li>・支点条件に適した支承を用いているか？</li> </ul>
	支承本体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・支承の構成材料について経済的、合理的な材料の使用。</li> <li>・耐久性に優れているか？また、腐食に対して十分な対策が施されているか？</li> <li>・外力（水平力、鉛直力、回転）に対して、過大設計となっていないか？または、安全な設計となっているか？</li> </ul>
	支承部周り	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ソールプレート、ベースプレートの板厚は適切か？</li> <li>・支承と上部構造のセットボルトについて径、本数、配置は適切で十分に定着されているか？</li> <li>・支承と下部構造のアンカーボルト及び溶接は十分に定着されているか？</li> </ul>
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・支承の取り替えが容易な構造となっているか？</li> </ul>

#### ◆ソールプレートの最小板厚

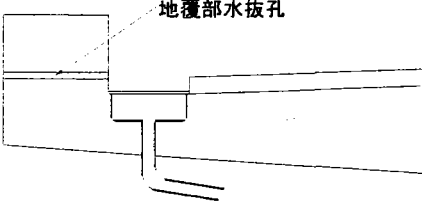
現行規定	<b>【道示 I 共通編 4.1.5】</b> ・ソールプレートの最小板厚は 22 mm。
性能規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上部工反力を支承へ均等な支圧応力として伝えることができる板厚、材質とする。</li> <li>・地震や風等の横荷重に対して抵抗できるサイズとする。</li> </ul>
提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電炉材の使用。</li> <li>・外力に対して抵抗できる板厚とする。</li> </ul>
効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・経済性の向上。</li> </ul>
設計方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・横荷重に対して、せん断および曲げの照査。</li> <li>・ソールプレート取付後の平面度を規定。</li> </ul>
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料検査</li> </ul>

◆支承アンカーボルトの最小寸法	
現行規定	【道示 I 共通編 4.1.5】 ・アンカーボルトの最小径 25 mm。埋め込み長は直径の 10 倍以上。 ・せん断、引張力によりアンカーボルトを規定。
性能規定	・外力に対しアンカーボルトのサイズを決定する。
提案	・応力照査よりサイズを決定する（最小寸法の規定を削除）。
効果	・経済性の向上 ・埋め込み長を抑えることにより、施工性の向上。
設計方法	・せん断力、引張力によりアンカーボルト径、本数、および埋め込み長を決定。
検証方法	・実験等

◆支承の構造	
現行規定	・常時、地震時の荷重に対し、一つの部材で抵抗する構造となっている（ゴム支承等）
性能規定	・上部構造からの荷重を確実に下部構造に伝達させる。 ・温度変化や弾性変形による上部構造の伸縮、たわみによる回転などに対して忠実に作動させる。
提案	・常時、地震時の荷重に対し、それぞれに抵抗する部材を分離する（機能分離型支承装置等）
効果	・コンパクトになる。
設計方法	・常時、地震時の荷重に対し、それぞれに抵抗する部材を設計する。

## ⑥ 付属物

性能規定		<ul style="list-style-type: none"> <li>・（排水柵）車両の走行機能を維持させ、橋体の耐久力が確保できること。</li> <li>・（伸縮装置）上部構造の移動、変形に対して、供用できる機能を維持させ、耐久力を有すること。</li> </ul>
性能照査設計 に向けての 視点	排水装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・降雨強度は妥当か？</li> <li>・滞水幅の設定は妥当か？</li> <li>・垂れ流しの可能性はないか？</li> </ul>
	伸縮装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遊間が過大ではないか？</li> <li>・温度変化の範囲は妥当か？</li> <li>・大型車の交通量は妥当か？</li> </ul>

◆排水柵設置個数の削減と、横引管の省略	
現行規定	基準降雨強度の降雨時で路面滞水が生じないように、排水柵を設置し雨水を全て流末まで導く。
性能規定	基準降雨強度の降雨時で路面滞水が生じないようにする。一定降雨量（基準降雨量よりは小さい）以下の排水は配水管流末部まで導く。
提案	排水柵は橋脚位置のみに設置し、配水管は主桁方向に横引きせず橋脚位置で流末まで導く。 一定降雨量を超えた場合の雨水は地覆部に設けた水抜き孔より排水し垂れ流しとする。 
効果	構造の簡素化、鋼重の軽減

◆伸縮装置	
現行規定	【道示 I 共通編 4.6】 伸縮装置は、設置する道路の性格、平たん性、排水性と水密性、施工性、補修性、経済性などを考慮して定めるものとする。
性能規定	「1日**台の大型車が通行して**年の耐久性を持たせる。」などを現行に追加する。
効果	ライフサイクルコストの削減 走行性の向上や振動の削減

⑦ 床組および横構

性能規定		床組は床版を支持し、荷重を主桁に適切に分配させる構造とし、また主桁の横倒れ、断面保持を目的とした構造とする。 横構は、I形断面プレートガーダー橋には横荷重を支承に円滑に伝達するような構造とする。
性能照査設計 に向けての視点	床組	・床組を設計する際の断面力算出に用いる荷重は適切か？ ・縦げた・床げた支間や曲げ剛性の影響を考慮しているか？
	対傾構	・各橋梁形式での対傾構間隔は適切か？ ・たわみによる主構造の変形を考慮しているか？
	横構	・上横構を省略できる条件は適切か？ ・下横構を省略できる条件は適切か？

◆床げた	
現行規定	<p>【道示Ⅱ鋼橋編 7.3】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・縦げたがなく、鉄筋コンクリート連続床版が曲げ剛性がほぼ同一の床げたで直接支持される場合、床げたの曲げモーメントおよびせん断力の算出に用いる荷重は、床版を単純げたと仮定して算出した床げた上の反力とする。</li> </ul>
性能規定	
提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上記の場合、荷重は床版によって分配されるので、各々の床げた間隔により連続げたとして算出した適切な曲げモーメントおよびせん断力を用いる。</li> </ul>
効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・適切な設計手法による設計の合理化</li> </ul>

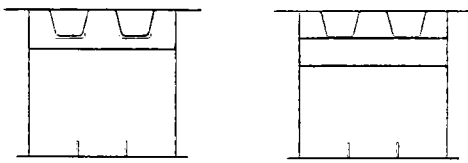
◆縦げた	
現行規定	<p>【道示Ⅱ鋼橋編 7.2】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋コンクリート連続床版を経て活荷重が作用する縦げたの曲げモーメントおよびせん断力は床版を単純げたと仮定して算出してよい。</li> <li>・支間および曲げ剛性がほぼ同一の連続げた活荷重による最大曲げモーメントは、単純げたとしての支間中央の曲げモーメント<math>M_0</math>に対する連続縦げたの曲げモーメントの比を用いて算出する。</li> </ul>
性能規定	
提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・縦げたの曲げ剛性が著しく変化する場合および縦げたを支持する床げたの曲げ剛性が小さい場合で、その変化率の制限値を性能規定として設定する。</li> </ul>
効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・規定の設定による設計の簡素化</li> </ul>

◆床組の連結	
現行規定	<p>【道示Ⅱ鋼橋編 7.4】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・縦げたを床げたのフランジ上に取り付ける場合は、縦げたの横方向の安定を保持できるような構造としなければならない。</li> <li>・ブラケットの取り付け部は、曲げモーメントによる応力が縦げた・床げた、ダイヤフラムなどに円滑に伝わるような構造にしなければならない。</li> </ul>
性能規定	
提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブラケットのフランジ、腹板に作用する曲げ応力が円滑に伝達されるような構造の提案（現行では箱桁の場合：ダイヤフラム、Iげたの場合：同じ高さの床げた等）</li> </ul>
効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曲げ応力の円滑な伝達</li> </ul>





性能規定	デッキプレートを補剛できる断面とする。
提案	Uリブ断面を大型化
効果	横リブの省略 部材数、溶接延長の低減 → 工場製作工数の低減 塗装面積の低減
備考	主桁応力の一部を負担できる断面とする。

◆横リブ	
現行規定	【鋼構造物設計基準(首都高速道路) 9-5】 横リブは、デッキプレートを上フランジとし、腹板と下フランジから構成されるI形断面とする。
性能規定	縦リブによる曲げモーメントおよびせん断力に抵抗できる構造とする。
提案	 <p>一般的な構造 → 提案構造</p>
効果	溶接量、部材加工工数の低減 → 工場製作工数の低減 構造の簡略化

◆主桁作用と床版作用との重ねあわせ	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 6.2.2】 鋼床版が主桁の一部として作用する場合は、次の二つの作用に対してそれぞれ安全であることを照査しなければならない。また、同時に考慮した場合についても安全であることを照査しなければならない。 ・主桁の一部としての作用 ・床版および床組としての作用
性能規定	鋼床版は主桁作用による応力と床版および床組作用による応力を個別に受けた場合と、同時に受けた場合の両方について、安全でなければならない。
設計方法	鋼床版は主桁作用による応力と床版および床組作用による応力を個別に受けた場合と、同時に受けた場合の両方について、応力が許容値内となることを照査する。
検証方法	主桁作用と床版作用の組み合わせにより、鋼床版に最も不利になる載荷状態に対して、鋼床版の応力を照査する。

⑨ 橋梁全体

性能規定		橋梁全体として、想定される荷重に対して、安全を確保していること。
性能照査設計に向けての視点	形式	橋梁形式は、妥当か？ 複合、混合構造により部材の合理化をはかれないか？ 床版、桁タイプは、妥当か？ 上部工断面に構造断面とみなせる部材はないか？ 連続桁の床版合成効果が認められないか？ 省略できる部材はないか？ 桁配置は、妥当か？ 線形は、妥当か？ 部材構成は、妥当か？
	耐震	桁遊間を縮小できないか？ 上下部一体による耐震向上が可能か？ 橋梁全体で、エネルギー吸収できる構造とできるか？ 移動制限装置を他の構造に代替できないか？ 免震支承を採用することで構造を縮小できないか？ 支承のバネ値を小さくできないか？ 橋梁全体の解析手法は、妥当か？
	耐久・耐腐食	耐候性鋼材の採否は妥当か？ 塗装系は、妥当か？
	諸条件	活荷重強度は妥当か？ 死荷重強度は妥当か？ 対象とする地震波は妥当か？
	コスト	橋梁全体でコストは縮減できているか？ プレキャスト部材を採用できないか？ 型鋼を採用できないか？ 製作工数を縮減できないか？
	景観	景観性の向上余地はないか？ 部材形状の統一はできないか？ 橋梁全体として、景観を向上できないか？

◆構造部材の拡大

現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 9.1.3】 曲げモーメントに対する合成作用の取り扱い 「版のコンクリートをけたの断面に算入する」
性能規定	構造部材とみなせる断面をけたの断面に算入する。
提案	壁高欄、地覆、中央分離帯を有効断面として、算入する。
効果	主桁以外の部材で分担するので、主桁の断面を小さくすることができる。 ただし、有効幅との関連もある。
設計方法	これまでの設計方法を利用し、算入する断面を増やすことで設計を行うことができる。

備考	地覆や高欄の構造が構造部材として扱えるように、材料強度や桁配置などに配慮し、それなりの構造にする必要がある。
----	--

◆上部構造と下部構造	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 1.1】 「この編は、主として鋼製の上部構造に適用する」
性能規定	この編は、 <u>鋼製の構造</u> に適用する。
提案	上部構造や下部構造の区別のできない構造形式への適用する。 (鋼製柱がそのまま基礎杭にするような形式への適用を可能にする。)
効果	上下部構造の区別をなくすことにより、設計上の自由度が増す。 上下部構造に分けることにより、支承部が大地震時の弱点となっていることへの改善。
設計方法	3次元非線型解析により設計
備考	鋼橋編というよりも、鋼構造編という意味合い。大地震対応への構造上のしわ寄せは支承部になりやすい現状。

◆RC橋脚の鉄筋の段落とし	
現行規定	【道示Ⅳ下部工編 4.4.2】 橋脚柱の軸方向鉄筋の段落としは、原則として行わないものとする。高橋脚等においてやむを得ず段落としをする場合には耐震設計の規定に従って段落とし位置を決定する。
性能規定	橋脚柱の軸方向鉄筋の段落としは、 <u>行わない事が望ましい</u> 。段落としをする場合には耐震設計の規定に従って段落とし位置を決定する。
提案	鋼橋の上部工と剛構造にする場合は、剛結部には基部で設置された鉄筋を必ずしも必要としない。
効果	鋼橋の上部工と剛構造にする場合には省力化
設計方法	橋脚基部で設置された鉄筋は段落としせずに橋脚天端まで設置する。
備考	現状問題点： ・鋼橋の上部工と剛構造にするとき、多くの鉄筋のため構造が複雑となる。

◆たわみの許容値	
現行規定	【道示Ⅱ鋼橋編 1.4 解説】 たわみの規定は主桁の曲率を制限するような形で表すこととした。 鉄筋コンクリート床版に加わる負荷曲げモーメントは、6.1.4 で規定する曲げモーメントの 15%までを許容するものとした。
性能規定	車両の安全な走行の保障、変形に伴う二次応力の影響などに対する構造物の安全性の確保、また通行者に与える不快感の排除のできる範囲内のたわみであること。 床版に負荷される曲げモーメントに対して安全であること。
効果	道路橋示方書の許容値より大きくなれば、鋼重の軽減が図れる。
設計方法	従来なたわみ規定であれば、負荷曲げモーメントは 15%までを許容できる。

◆設計活荷重強度	
現行規定	【道示Ⅰ共通編 2.1.3】 活荷重は、自動車荷重、群集荷重および軌道の車両荷重とし、大型の自動車の交通の状況に応じてA活荷重およびB活荷重に区分する。
性能規定	活荷重は、自動車荷重、群集荷重および軌道の車両荷重とし、 <u>その橋梁の耐用年に想定される交通の状況に応じて設定する。</u>
提案	活荷重強度の選択肢が増える。 ・ B活荷重 ・ A活荷重 ・ 実活荷重
効果	以下の路線にかかる橋梁に有利 ・ 交通量の明らかに少ない路線 ・ 大型車の進入できない路線 ・ 車両制限を行なう路線

◆設計の基本方針	
現行規定	【道示Ⅳ下部工編 3.1】 下部構造の設計にあたっては、上部構造からの荷重ならびに下部構造自体に作用する荷重を安全に地盤に伝えるとともに、上部構造より与えられた設計条件を満たすようにしなければならない。
性能規定	下部構造の設計にあたっては、 <u>橋梁に作用する荷重を上部構造と一体となって安全に地盤に伝えるとともに、橋梁全体としての安全を確保するよう</u> <u>にしなければならない。</u>
提案	下部構造への作用荷重を軽減できるような上部構造形式 ・ 柱下端支承 ・ 中間横桁の下に鉛直支柱（下部工天端を下げる）

⑩ その他

性能規定		<ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁上部構造は、構造物として安全であるのみならず、経済性、機能性、耐久性、美観性においても優れたものでなければならない。</li> <li>・また将来のメンテナンス工事や架替え工事などに対しても配慮しなければならない。</li> </ul>
性能照査設計に向けての視点	経済性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料費、製作費、架設費などを総合的に判断して最も経済的な設計となっているか？</li> </ul>
	機能性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造物全体を通して本来の機能を阻害しているような部位が存在しないか？</li> </ul>
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・細部設計や細部構造詳細も含めて所要の耐久性能を満たしているか？</li> </ul>
	美観性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造物全体を通して美観性を十分発揮しているか？</li> </ul>
	対メンテナンス性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・将来の維持補修に対しても十分配慮した設計となっているか？</li> </ul>

◆マンホール	
現行規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・形状は最小 600x400 通常 700x500 程度</li> <li>・開口部には補強板（ダブルングプレート）もしくは補剛板（カープレート）等を取り付けて補強する。</li> <li>・箱断面桁の桁内への出入り部にはマンホールに蓋（扉）を取り付ける。</li> </ul>
性能規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最小 600x400。最大は応力上問題とならない程度とし、極力大きくする。</li> <li>・応力集中により開口部に発生する応力度が局部座屈などを考慮した許容値内に収まるように必要に応じて母材の補強を行う。</li> <li>・扉の開閉は〇〇N以下の力で行えるようにする。</li> </ul>
提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マンホール開口形状の拡大</li> <li>・補強板の廃止</li> <li>・蓋（扉）の軽量化（FRP材などの使用）</li> </ul>
効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現場施工性の向上</li> <li>・小型材片数の減少</li> </ul>
設計方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・補強板や補剛材を取付けなくても開口部に発生する応力度が局部座屈などを考慮した許容値内に収まるよう母材の板厚をアップする。</li> <li>・この場合の鋼重増と小型材片数の減少との経済性を比較する。</li> </ul>

◆鋼種の選定	
現行規定	<p>【道示Ⅱ鋼橋編 1.6】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・道示Ⅱ鋼橋編「1.6 鋼種の選定」にて、圧延鋼材の使用を原則</li> <li>・発生断面力・発生応力度に応じて板厚・材質を選定</li> </ul>

性能規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・道示に規定されている圧延鋼材と同等の性能を有する</li> <li>・対防蝕性、対疲労性を考慮して材質を選定する。</li> </ul>
提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄スクラップを使用する電炉材を採用する。</li> <li>・材質を低クラスに落として疲労強度の低い構造詳細を採用する。</li> </ul>
効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料コストの低減</li> <li>・製作コストの低減</li> </ul>
備考	<p>首都高速道路公団において使用実績がある 現状の問題点：(確認必要)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・黒皮が厚く溶接性が悪く、溶接部の黒皮を落とす作業が発生</li> <li>・コバ丸みはあるが、塗装のためにさらに面取りが必要</li> </ul>

◆端支点上付近の地震時の安全性	
性能規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震時に、主構造において座屈等の破壊を起こさないように支点部にてエネルギー吸収のできる構造とする。</li> </ul>
提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・支点付近の構造および連結を強化する。</li> </ul> <p>例) 腹板厚の増大、補剛材の増大、 腹板と補剛材の溶接量の増大、端対傾構と補剛材の 連結の強化 巻立てコンクリートの施工</p>
効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震時の安全性の確保</li> </ul>
備考	<p>背景： ①阪神大震災において、端支点上が橋軸直角方向の地震力によって、座屈している被害が多かったこと。</p>

◆ケーブル安全率	
現行規定	<p>【道示】 一律 吊 橋：3.0 斜張橋：2.5</p>
性能規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・変動荷重（活荷重、風荷重など）による断面力が設計断面力に占める割合により設定する。</li> </ul>
効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・合理化かつ経済性向上</li> </ul>

◆板厚の選定	
現行規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部材の発生応力度やたわみ量が許容値内に収まる最小板厚を採用する。</li> </ul>
性能規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・補剛材なども含めた部材のトータル製作費が最小になるように決定する。</li> </ul>

提案	・部材に取り付く補剛材が省略できる板厚を用いた場合、板厚増による材料費の増分と、小型材片数の減少による製作費の減とを比較して決定する。
効果	・経済性の向上

◆構造部材の拡大	
現行規定	・断面力、主桁もしくは、主桁と床版が負担する。
性能規定	・荷重の載荷確率を考慮し、有効な断面で負担する。
提案	・A活荷重：鋼桁 ・B活荷重：鋼桁+床版 ・特殊荷重：鋼桁+床版+高欄、地覆、中央分離帯など
効果	・主桁以外の部材で分担するので、主桁の断面を小さくすることができる。
備考	・地覆や高欄の構造が構造部材として扱えるような構造に変更する必要がある。

### 3. 3. 4 まとめ及び今後の課題

設計WGでは、設計者の立場から多岐にわたる項目についての性能抽出を行った。また同時に性能規定に基づく設計方法や構造の提案、さらにはその効果についても抽出を試みた。その結果、設計者が従来から過剰設計や煩雑な設計であると考えていた項目などについて多くの提案をおこなうことができ、今後の性能照査型設計に関する種々の検討にあたっての大きな手がかりを与えることができたと考えられる。

しかしながら、性能照査型設計に基づく設計方法や検証方法を提案することは難しく、これらを確立するまでの道のりは容易なものではないことも同時に明らかになった。また設計の観点からの抽出をおこなったために、美観性や快適性などといった発注者や使用者の観点からの項目は少なく、現行示方書や標準ディテールの書き換えのようなイメージの報告となったことも否めない。

したがって、この活動報告をさらに有意義なものにするためには、設計という観点のみにとらわれず広い視野からの性能の抽出を行うとともに、発注者や使用者からも理解の得られる性能規定の提案が必要と考えられる。そのためには自家用車や電化製品のように、鋼橋においても広く一般の人に性能を説明できるようなカタログ的な仕様書を作成するのも一つの方法と考えられる。