2007. 02. 27
第4回新都市社会技術セミナー

新都市社会技術融合創造研究会

橋梁のコスト縮減構造に関する研究会

プロジェクトの概要紹介



プロジェクトリーダー
家村浩和

主なメンバー

プロジェクトリーダー	家村浩和（京都大学）
学識委員	北田俊行（大阪市立大学）
	伊津野和行（立命館大学）
	小野潔（大阪大学）
官側委員	大西　博（国交省近畿地方整備局）
	藤本昭彦（同上）
	森本　聡（同上）
民側委員	日本橋梁建設協会
	PC建設業協会
	日本支承協会
	ゴム支承協会
	日本土木工業協会
	建設コンサルタンツ協会

本日の研究会の発表内容

橋梁のコスト縮減構造研究会

1. 研究会の目的と活動内容
   京都大学大学院　家村浩和
2. 上部構造のコスト縮減への取り組み
   （社）PC建設業協会　室田　敬
3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取り組み
   （社）日本土木工業協会　大村恵治
4. 免震・制震構造とデバイス
   ゴム支承協会、（社）日本支承協会　吉田雅彦
5. テストフィールドにおけるコスト縮減対策
   （社）建設コンサルタンツ協会　野口二郎

1.研究会の目的と研究内容

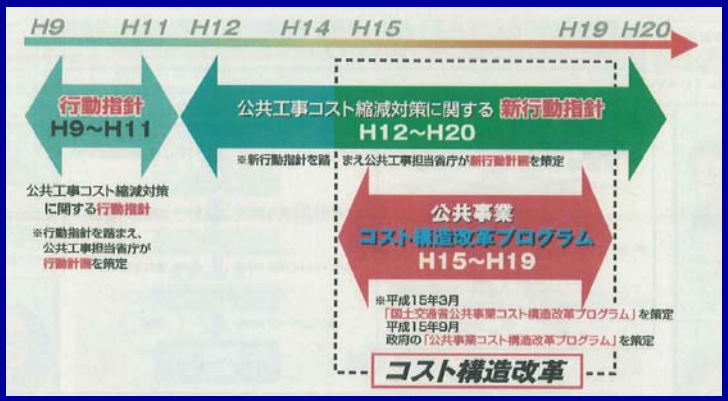
国土交通行政の目標（政策課題）

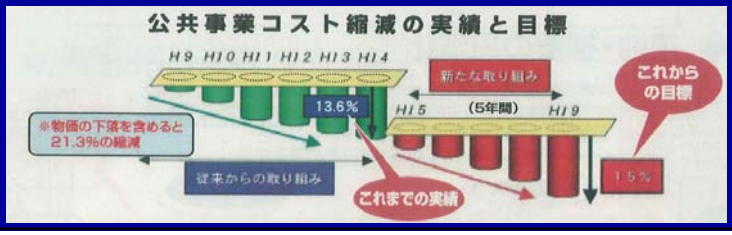
- 建設コスト，維持管理コストを低減
  （国土交通省公共事業コスト縮減構造改革プログラム）
- 新技術の開発，実用化の推進
- 国際標準の確立支援，基準の国際的な調和に努める

橋梁の設計基準策定に求められる視点

- ライフサイクルコストの縮減
- 基準類の性能規定化など技術基準の見直し
- 国際的な潮流との整合・調和
- 新たな発想・創意工夫に基づく社会資本の整備

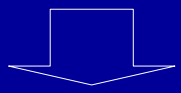
コスト構造改革





橋梁のコスト縮減構造に関する研究会の目的

仕様設計から性能照査型設計への移行



産・官・学の技術者が協力し、
技術開発により、橋梁構造の諸性能を落とすことなく
コスト縮減できる
新しい材料、構造形態、設計法、施工法などの
技術開発と応用を目指すことを目的とする。

本研究会活動状況（1）

第1回研究会　平成15年10月
・本研究会発足
第2回研究会　平成15年11月
・研究内容の討議
第3回研究会　平成15年11月
・研究内容の方針決定
・話題提供（京都大学　家村教授）
『アンボンド高強度芯材高耐震性能RC橋脚』
第4回研究会　平成16年01月
・話題提供（大阪大学　小野助教授）
『道路橋示方書と橋梁コスト縮減について』
『鋼製橋脚の耐震性能の照査方法について』
・話題提供（日本橋梁建設協会　谷川氏）
『建設機械進歩による急速施工』
・話題提供（PC建設業協会　森田氏）
『プレキャスト工法』
第5回研究会　平成16年04月
・話題提供（大阪市立大学　北田教授）
『鋼製橋脚の隙間空けコンクリート充填法』
・話題提供（日本土木工業協会　岡本氏）
『日本初の鋼・コンクリート複合トラス橋木ノ川高架橋』
『超高強度コンクリート橋』
『制震橋脚』

本研究会活動状況（2）

第６回研究会　平成16年06月
・話題提供（立命館大学　伊津野教授）
『支承の上揚力規定に関するコスト縮減の可能性』
・話題提供（日本支承協会　比志島氏）
『支承概論』
第７回研究会　平成16年08月
・話題提供（建設コンサルタンツ協会　田島氏他）
『新材料を用いた橋梁構造物に関する研究』
第８回研究会　平成16年09月
・テストフィールド自由討議
第９回研究会　平成16年10月
・テストフィールドの検討
第１０回研究会　平成16年11月
・テストフィールドの選定
・話題提供（京都大学　家村教授）
『新潟県中越地震の調査報告』
第１１回研究会　平成17年02月
・テストフィールドの具体的なコスト縮減策の提案
第１２回研究会　平成17年03月
・話題提供（京都大学　家村教授）
『スマトラ島沖地震の調査報告』
・テストフィールドの具体的なコスト縮減策の提案

本研究会活動状況（3）

第１３回研究会　平成17年06月
・話題提供（京都大学　家村教授）
『スマトラ島沖地震の調査報告』
・テストフィールドの具体的なコスト縮減策の提案
第１４回研究会　平成17年09月
・話題提供（阪神高速道路公団　金治課長補佐）
『阪神高速道路公団における長大橋の耐震性向上策』
・話題提供（PC建設業協会　室田氏）
『プレテンションプレキャストウエブ橋』
・話題提供（日本支承協会　吉田氏）
『支承の耐震技術の現状』
・話題提供（ゴム支承協会　石塚氏）
『橋梁用支承のISO，JIS化』
第１５回研究会　平成18年01月
・各協会検討事項報告
建設コンサルタンツ協会
『リスクを考慮したライフサイクルコストの検討方針』
・話題提供（日本橋梁建設協会　小林氏）
『新しい長支間橋梁』

見学会（大和御所道路、橋本道路）　平成17年11月

本研究会活動状況（4）

第16回研究会　平成18年03月
- ・話題提供（日本支承協会　吉田氏）
  『今、はやり？の制震装置』
- ・コスト縮減を目指した免震・制震の新しいデバイス
- ・PCで挑む立体交差急速施工システム
- ・研究会報告書目次（案）の提案

第17回研究会　平成18年05月
- ・話題提供（近畿地方整備局　大西課長）
  『近畿地方整備局の公共工事のコスト縮減構造改革について』
- ・研究会報告書目次（案）の討議

第18回研究会　平成18年06月
- ・報告書執筆分担

第19回研究会　平成18年07月
- ・報告書中間報告、内容討議

第20回研究会　平成18年10月
- ・報告書中間報告、内容討議

第21回研究会　平成18年12月
- ・報告書中間報告、内容討議

第22回研究会　平成19年01月
- ・報告書中間報告、内容討議

報告書の構成

橋梁のコスト縮減構造に関する研究会　報告書

目　次	ページ数		進捗状況
1. はじめに		4	
2. コスト縮減構造に関する調査・研究		147	
2.1　まえがき	2		
2.2　コスト縮減への取組の現状	5		
2.3　コスト縮減に係る設計法	2		
2.3.1　鋼構造物の設計法	25		
2.3.2　コンクリート構造物に関する設計法	6		
2.3.3　合成構造・複合構造に関する設計法	6		
2.3.4　免震・制震に関する設計法	3		
2.4　最近の橋梁構造・材料	2		
2.4.1 鋼橋の現状	22		
2.4.2 ＰＣ橋の現状	20		
2.4.3 鋼・コンクリート複合橋梁の現状	22		
2.5　免震・制震設計へのアプローチ	32		
2.6　まとめ	2		
3. テストフィールドにおけるコスト縮減対策		48	
3.1　まえがき	3		
3.2　鋼・複合上部構造形式	15		
3.3　ＰＣ上部構造形式	12		
3.4　高橋脚の耐震対策とコスト縮減	16		
3.5　まとめ	2		
4. コスト縮減が期待される方向性と課題		55	
4.1　まえがき	2		
4.2　上部構造に関する提案と課題	23		
4.3　新材料を用いた橋梁の現状	18		
4.4　下部･基礎構造に関する提案と課題	6		
4.5　耐震対策に関する提案と課題			
4.6　架設・施工に関する提案と課題	3		
4.7　まとめ	2		
5. ライフサイクルコストの評価とコスト縮減		10	
5.1　まえがき			
5.2　コストの評価方法			
5.3　要求性能を満足する耐震対策の検討			
5.4　震災復旧費を含めたコストの算出方法			
5.5　耐震対策によるコスト縮減			
5.6　まとめ			
6. むすび		2	
参考資料　　京奈和自動車道見学会		10	
	合計	276	

2. 上部構造のコスト縮減への取り組み

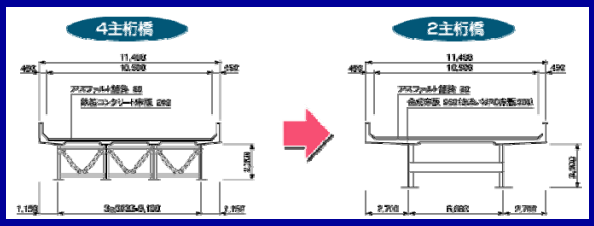
(1) 最近の橋梁のコスト縮減技術
(2) 今後コスト縮減が期待される技術

（社）プレストレストコンクリート建設業協会
室田　敬

（1） 最近の橋梁のコスト縮減技術

少数主桁橋

- PC床版や合成床版を用いて主桁数を減じた構造で、従来の多主桁と比べ、大型材片数と溶接延長が大幅に削減されるほか、小型材片数および塗装面積もかなり削減される。





ホロナイ川橋



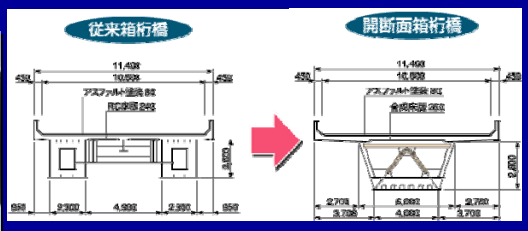
大津呂川橋

開断面箱桁橋

- PC床版や合成床版を用いて1室箱桁を構成する構造で、従来の2室箱桁と比べ、部材数、材片数、溶接延長が大幅に削減されるほか、塗装面積がかなり削減されるためLCCが低減される。



千歳ジャンクションCランプ橋

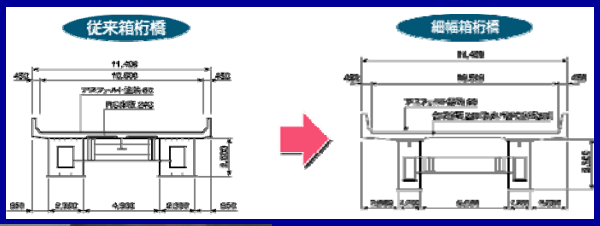




現場でのパネル組立て状況

細幅箱桁橋

- PC床版や合成床版を用いることで床版支間を大きくし、床組構造を合理化した構造で、従来の2箱桁橋に比べ、材片数、溶接延長および塗装面積をかなり削減できる。

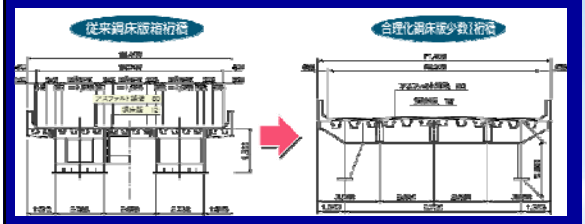



引佐ジャンクションCランプ橋


仮組立状況

合理化鋼床版橋

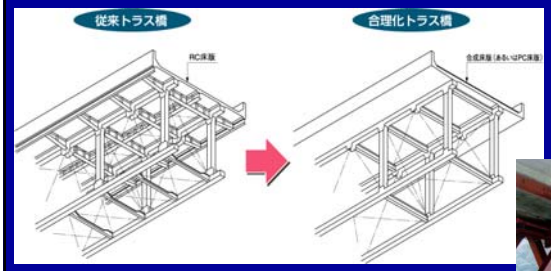
- 鋼床版のデッキプレート厚を上げ、大断面Uリブを用いて縦リブ、横リブ本数を削減し、工場製作の省力化を図った構造で、従来の鋼床版箱桁と比べ、部材数、材片数、溶接延長が削減されるほか、塗装面積がかなり削減されるためLCCが低減される。




河南高架橋

合理化トラス橋

- PC床版や合成床版を用いることで床版支間を大きくし、直接トラスの上弦材で床版を支持することにより床組構造を合理化した構造で、従来のトラス橋と比べ、床組構造の簡素化により、大型材片数が大幅に削減される。

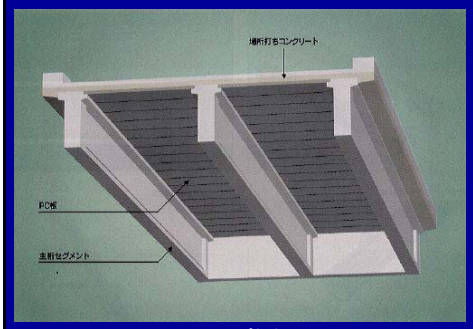




椿原橋

PCコンポ橋

- 主桁および中間横桁を少数化し、PC板を使用した合成床版を採用した構造で、従来の多主桁橋に比べ、構造の合理化が図れ、床版の耐久性向上によりLCCが低減される。



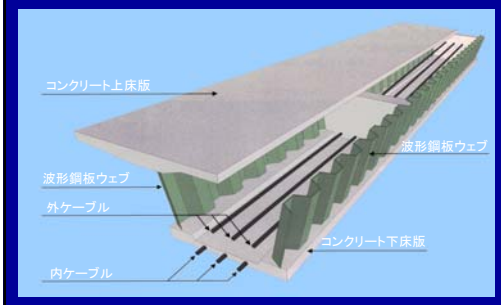
PCコンポ橋概要図



施工例

波型ウェブPC橋（桁橋）

- コンクリートウェブを軽量な波形鋼板に置き換えた構造で、従来の箱桁橋に比べ、自重が低減され、スパンの長大化、施工の省力化、基礎および下部工のコスト縮減が図れる。



波形ウエブ橋の概要図



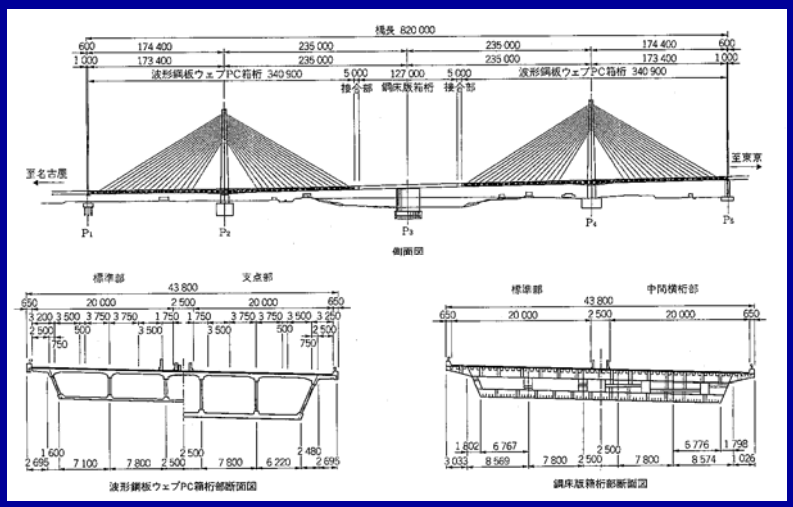
本谷橋

波型ウェブPC橋（エクストラドーズド橋）



栗東橋

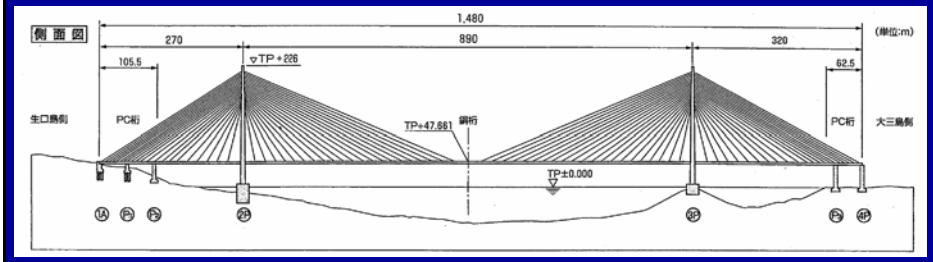
波型ウェブPC橋（PC斜張橋）



構造図（矢作橋）

複合桁橋
（コンクリートと鋼の重量バランスによる合理化）

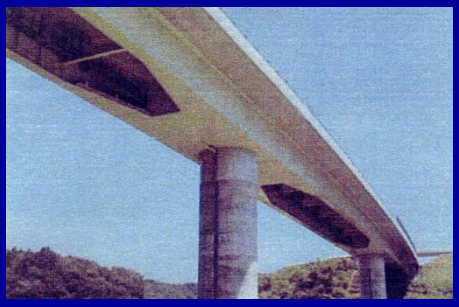
- 極端な不等径間連続桁において、複合桁構造を採用することにより、死荷重バランスを改善し、負反力を解消することが可能である。



多々羅大橋一般図

複合ラーメン橋
（鋼桁とコンクリート橋脚を剛結した橋梁）

- RC橋脚と少数主桁を剛結することにより、支承構造を省略し、耐風安定性および耐震性を向上させることが可能となる。



下浜鮎川橋



横浜青葉IC橋

複合アーチ橋
（コンクリートアーチ ＋ 鋼少数主桁の補剛）

- 圧縮に強いコンクリートをアーチ部材に用いた合理的な構造形式で、少数主桁形式の補剛桁をコンクリートアーチで支えた富士川橋やCFT構造の鋼管アーチリブを用いた新西海橋等がある。



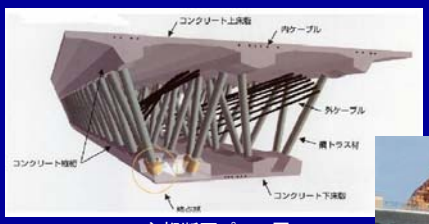
富士川橋完成予想図



新西海橋

複合トラス橋
（上部構造の軽量化）

- 鋼トラス材が上下のコンクリート床版に連結されたトラス構造のPC橋であり、従来のPC箱桁のコンクリートウェブを鋼トラス材に置き換えることで、軽量化や景観性の向上を図ることができる。



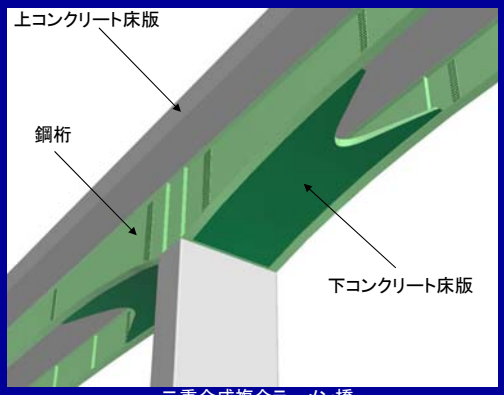
主桁断面パース図


猿田川橋・巴川橋

（2） 今後コスト縮減が期待される技術

二重合成複合ラーメン橋

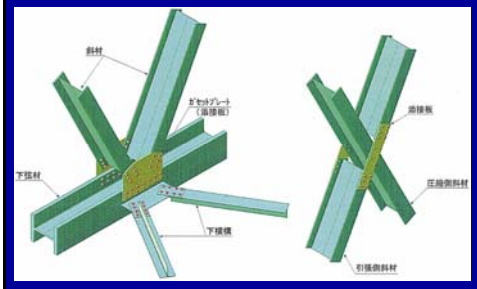
- 少数主桁複合ラーメン橋をさらに発展させた構造形式であり、中間支点付近に下コンクリート床版を設けることで、負曲げモーメント領域の桁剛性を合理的に増加させている。



二重合成複合ラーメン橋

ラチストラス橋

- 主構形式をダブルワーレン（ラチス）とすることで、座屈長が短くなるので、H形鋼などでも断面構成が可能となる。また、格点作用力が分散化され、格点構造が簡略化される。



格点構造



宮川橋

合成斜張橋

- 鋼桁とコンクリート系床版を合成させた主桁を、斜めケーブルで支持する橋梁形式で、鋼斜張橋に比べ鋼重を削減でき、PC斜張橋より軽い合理的な斜張橋形式である。



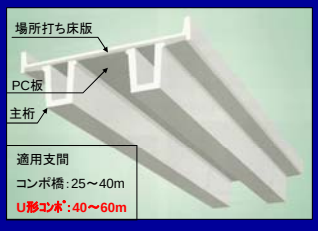
合成斜張橋イメージパース図

U形コンポ橋

- 主桁断面をU形にすることで、従来のコンポ橋に比べ適用支間を拡大できる。また、プレキャスト部材を多用するため、現場作業の省力化、耐久性の向上、工期の短縮が図れる。



第二戸奈瀬高架橋

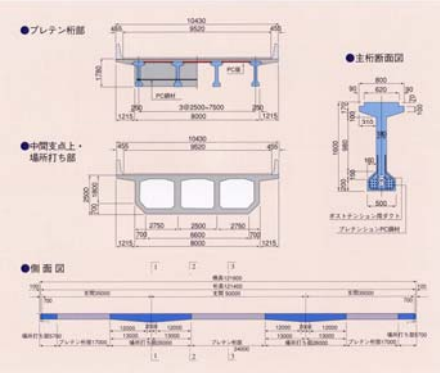




U形断面主桁セグメント

スプライスPC橋

- 多径間連続桁の径間部にプレテンション方式のプレキャスト桁を用い、支点部の場所打ち施工部とポストテンション方式で一体化する橋梁であり、従来の場所打ち箱桁に比べ、支保工が低減でき、コスト縮減が図れる。





多々羅田橋梁（径間部はプレテンホロー桁）

自碇式吊り床版橋

- 1次ケーブルの張力を、下部構造の橋台背面から上部構造の橋体端部に盛り換える（自碇式に構造系変換）ことで、地盤に与える負担を低減し、上部構造にプレストレスとして作用させるため、非常に合理的な構造である。



青雲橋

3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み

3.1 最近のコスト縮減技術
3.2 今後期待されるコスト縮減技術
(1)下部工構造
(2)基礎構造
(3)新材料を用いた橋梁

(社)土木工業協会
大村恵治

3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み

3.1 最近のコスト縮減技術

1)鋼管コンクリート複合構造
※「設計要領第二集」
・表面リブ加工鋼管
・PC鋼より線フープ筋
↓
横拘束筋量の低減
施工性の向上



3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.1 最近のコスト縮減技術

2)インターロッキング構造（橋脚）

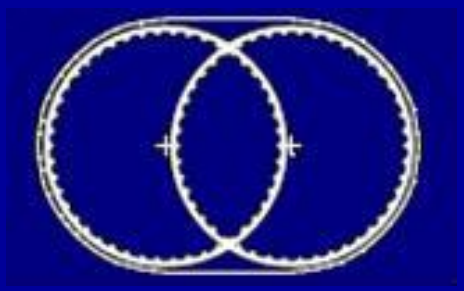
※「インターロッキング橋脚の設計指針(案)」

・中間帯鉄筋無し

↓

横拘束筋量の低減

施工性向上



3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術

(1)下部工構造

1)New-SRC構造

・部材軸方向鋼材の95%を
鉄骨化(従来70%以下)

↓

現地組立の効率化





道路宇治洛川橋P5橋脚

（国土交通省近畿地方整備局）

※3渇水期→2渇水期

3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術
(1)下部工構造

2)PC構造

※「プレストレストコンクリート橋脚の耐震設計ガイドライン」

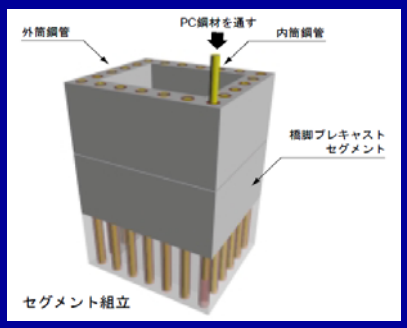
・原点指向型復元力特性

・プレキャストセグメント

↓

残留変形が小さい

現地組立の効率化



3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術
(1)下部工構造

3)制震構造

・複数コンクリート柱をトラスで連結

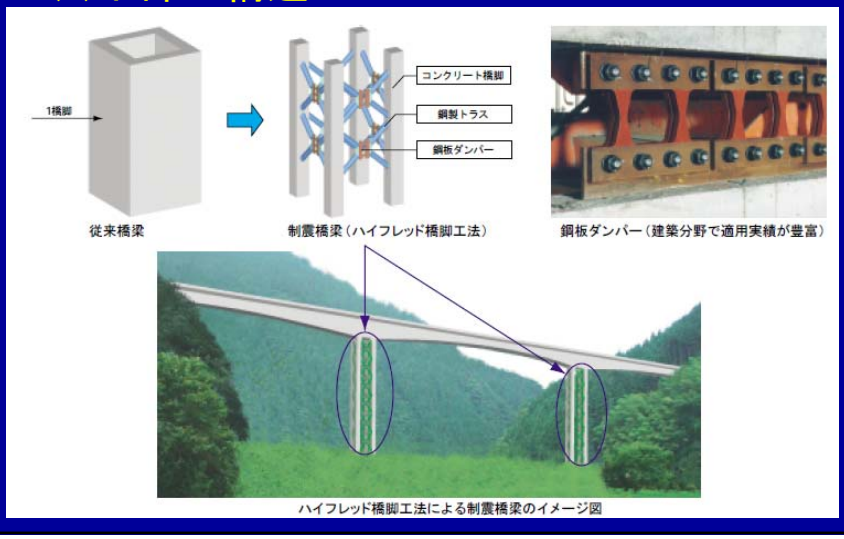
・鋼製ハニカムダンパー

↓

橋梁の長周期化(地震応答加速度低減)

橋脚・基礎構造の小規模化

3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術
(1)下部工構造



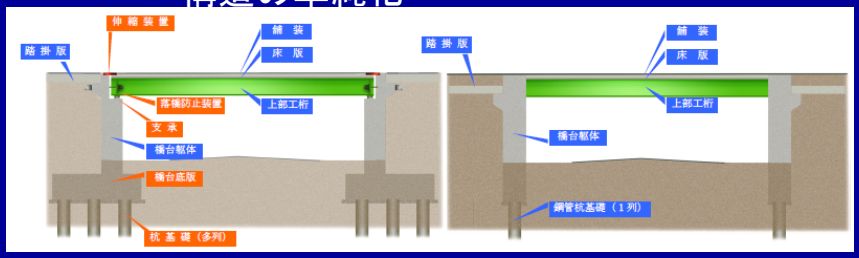
3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術
(2)基礎構造

1)インテグラルアバット構造

・上下部工の一体化，基礎を単列杭

・橋軸方向の変形に自由度

→ 構造の単純化



3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術
(2)基礎構造

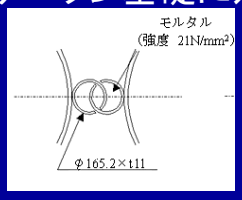
2)高剛性継手を用いた鋼管矢板基礎

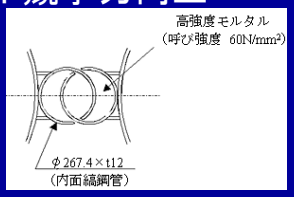
・鋼管矢板継手構造のせん断耐力向上

↓

平面寸法の小規模化

ケーソン基礎に対するコスト競争力向上





従来構造　⇒　ハイパーウェルSP工法®

3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術
(3)新材料を用いた橋梁

1)超高強度コンクリート橋

・100N/mm²を上回るコンクリート材料

超高強度繊維補強コンクリート(UFC)

低収縮型超高強度コンクリート(LSUC)

↓

部材の縮小：自重軽減，施工性向上

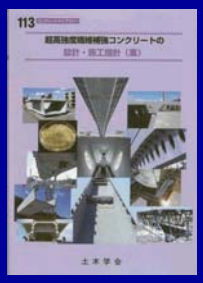
長寿命化　：ライフサイクルコストの低減

3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術
(3)新材料

超高強度繊維補強コンクリート(UFC)

鋼繊維補強により引張強度を持つ

⇒鉄筋不要



※超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)



「ダクタル®」 酒田みらい橋

3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術
(3)新材料　1)超高強度コンクリート橋

低収縮型超高強度コンクリート(LSUC)

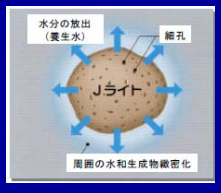
・高強度化に伴う自己収縮の課題を改善

・石炭灰人工軽量骨材(Jライト)

※コンクリート標準示方書の設計体系に準拠



人工軽量骨材



セルフキュアリング効果

3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術
(3)新材料

低収縮型超高強度コンクリート（LSUC）







「パワークリート®」 秋葉原公共デッキ

3. 新材料と下部構造のコスト縮減への取組み
3.2 今後期待できるコスト縮減技術



超高強度繊維補強コンクリート「サクセム®」
制震橋脚「ハイフレッド橋脚工法」

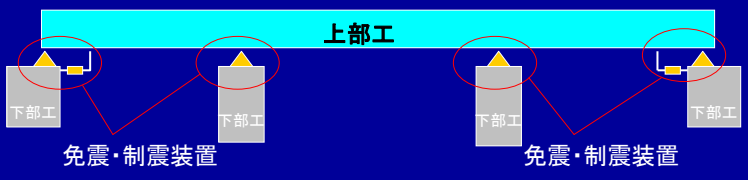
4. 免震･制震構造とデバイス(装置)

(1) 免震･制震装置の機能分類
(2) 免震･制震装置の種類
(3) 免震･制震装置の特徴

ゴム支承協会、(社)日本支承協会

吉田雅彦

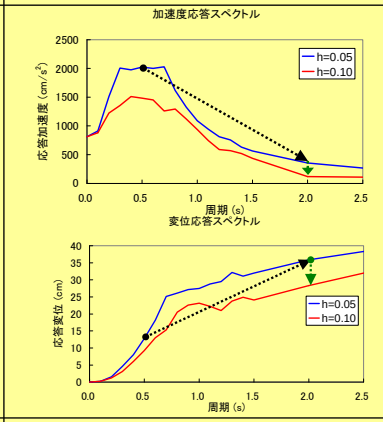
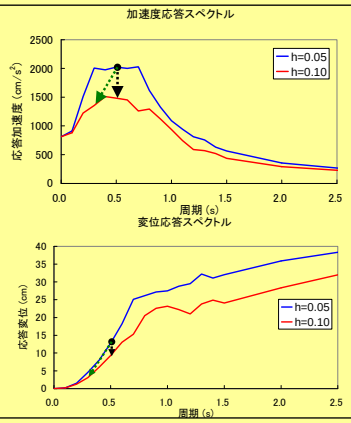
(1)免震･制震装置の機能分類



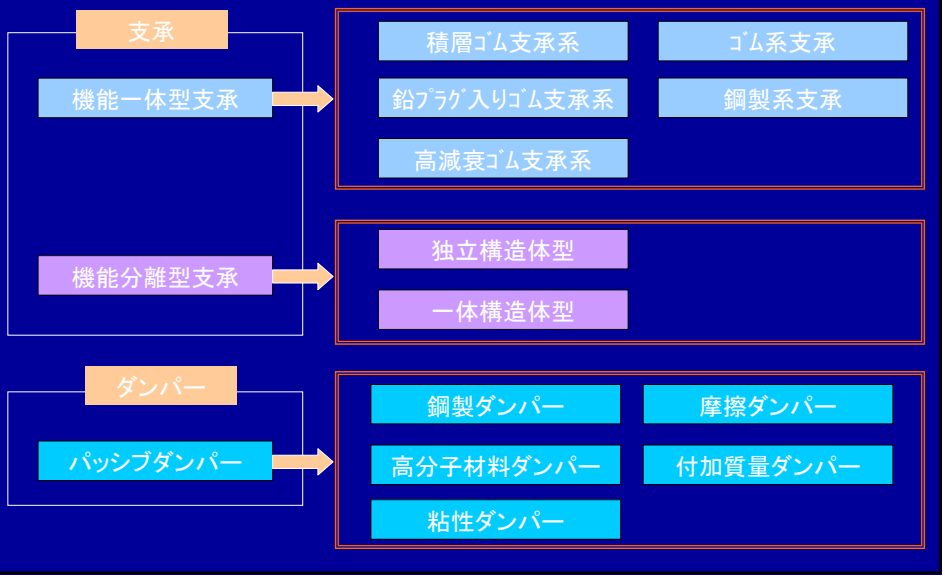
- 免震･制震装置の機能分類
  - 荷重伝達機能
    - 鉛直力支持機能
    - 水平力支持機能
  - 変位追随機能
    - 水平移動機能
    - 回転機能
  - 減衰機能
  - アイソレート機能
  - 振動抑制機能

免震･制震装置には，荷重支持機能や減衰機能を複合して支承部として用いられる場合と，減衰機能などをダンパーとして用いる場合がある．

免震と制震の違い

	免　震	制　震
応答加速度 応答変位		
特徴	①長周期化による地震力の低減（主） ②減衰による変位の抑制（従）	①減衰による地震力、変位の低減（主）

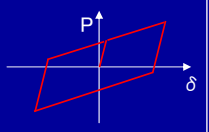
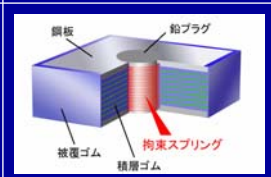
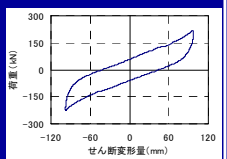
（2）免震・制震装置の種類



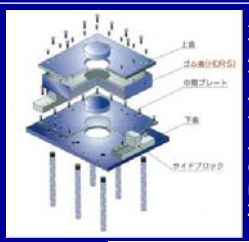
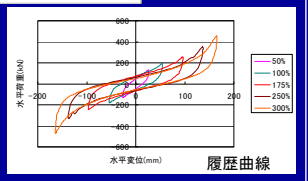
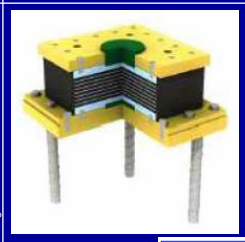
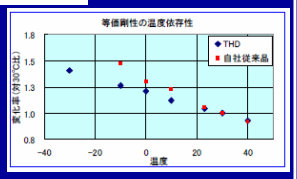
(3)免震・制震装置の特徴
機能一体型支承

大分類	中分類	小分類
機能一体型支承	積層ゴム支承系	地震時水平力分散型ゴム支承
		固定型ゴム支承・可動型ゴム支承
	鉛プラグ入りゴム支承系	鉛プラグ入り積層ゴム支承
		スプリング拘束型鉛プラグ入り積層ゴム支承
	高減衰ゴム支承系	高減衰ゴム支承
		減衰性能を向上した高減衰ゴム支承
		減衰性能向上と温度性能安定型高減衰ゴム支承
	ゴム系支承	ゴム系荷重支持板と鋼材固定装置
		荷重支持部を嵌合型とした固定可動支承
	鋼製系支承	密閉ゴム支承板支承

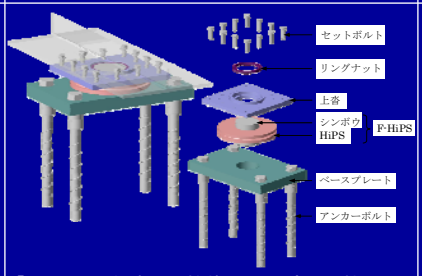
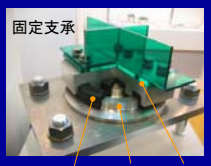
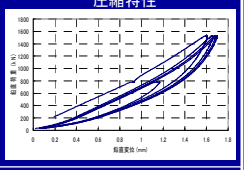
鉛プラグ入りゴム支承系

	鉛プラグ入り積層ゴム支承	ｽﾌﾟﾘﾝｸﾞ拘束型鉛プラグ入り積層ゴム支承
概要	LRB  ゴムと鋼板と加硫接着した積層ゴム体に鉛プラグを埋め込み一体化した支承。 鉛プラグの大きさを変えることで、構造物の大きさ、特性にあわせることが出来るので設計の自由度が高い。  履歴特性：バイリニア	 鉛プラグの周囲をゴム層で保護し、この中にスプリングを設け、鉛プラグを拘束することによりせん断変形時の鉛プラグの挙動を安定させる効果を持つ。 天然ゴム系ゴム支承に鉛プラグと呼ばれる円柱状の鉛を単数または複数挿入することにより、天然ゴム系ゴム支承としての復元力特性と鉛プラグのせん断変形時に生じる減衰特性を併せ持った免震支承である。 
機能	①鉛直力支持性能　②水平力支持　③水平移動機能　④回転機能　⑤減衰機能	①荷重(鉛直・水平)伝達機能，②変位(水平・回転)追随機能，③減衰機能，④アイソレート機能

高減衰ゴム支承系

	減衰性能を向上した高減衰ゴム支承	減衰性能向上と温度性能安定型高減衰ｺﾞﾑ支承
概要	 天然ゴムをﾍﾞｰｽに摩擦減衰要素および粘性減衰要素を併せ持つゴム材料で作られた積層ゴム支承で，従来品の高減衰ゴム支承に比べ減衰性能が20%アップしている。 G8，G10，G12の3種類のゴム材料があり，用途に応じて使い分ける。  履歴曲線	 ゴム支承本体と上下のプレート、アンカーボルト、せん断キー、取付けボルト類で構成。 ゴム支承本体は補強鋼板及び上下鋼板と独自開発の特殊高減衰ゴムの積層構成 -30℃／+30℃の剛性比が1.5以下と、水平剛性の温度依存性が少なく、地震応答が安定しています。 
機能	①荷重（鉛直・水平）伝達機能，②変位（水平・回転）追随機能，③減衰機能，④アイソレート機能	①荷重（鉛直・水平）伝達機能、②変位（水平・回転）追随機能、③減衰機能、④アイソレート機能

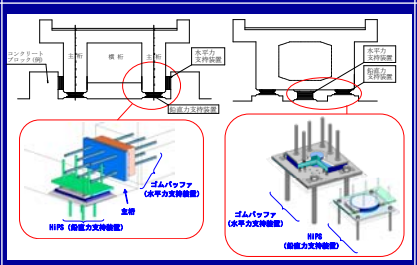
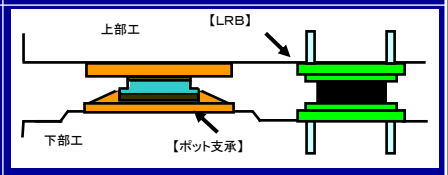
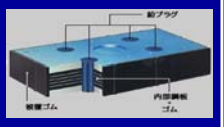
ゴム系支承系

	ゴム系荷重支持板と鋼材固定装置	荷重支持部を嵌合型とした固定可動支承
概要	 「FxSB」は，鉛直力支持装置として高い支持力性能を有するHiPSを用い，水平力支持装置として，全方向の水平力に抵抗する鋼製の円柱"シンボウ"を支承中心の一箇所に配置することにより，従来の固定支承に比べ，平面寸法が小さく，支承高が低くなります．	鉛直荷重支持部が、ゴムを上下鋼板の凹凸噛合せ構造により高面圧化し、さらにその構造が、水平力を支持し、変位の拘束をする支承装置。可動支承はPTFEとSUSのすべり型である。 機能内蔵型SNゴム支承   嵌合部にはゴムが全周に亘り加硫接着されており緩衝効果がある。 圧縮特性 
機能	①鉛直力支持機能、②水平力支持機能、③上揚力に抵抗する機能、④回転追随機能	①鉛直力支持性能　②水平力支持　③水平移動機能（可動型）　④回転機能⑤アイソレート機能（可動型）

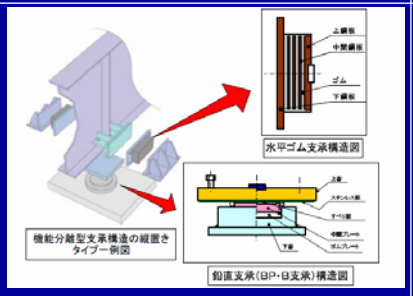
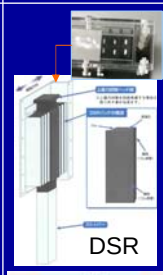
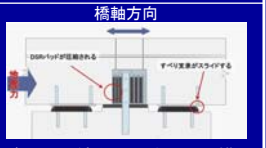
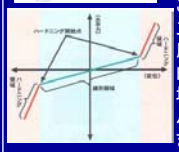
機能分離型支承

大分類	中分類	小分類
機能分離型支承	独立構造体型	ゴム系鉛直荷重支承とせん断型積層ゴム水平支承
		鉛直荷重鋼製支承とせん断型積層ゴム水平支承
		鉛直荷重積層ゴム支承と圧縮ゴム水平支承
	一体構造体型	鋼製支承と積層ゴムの複合型
		上積層ゴムと下積層ゴムの複合型

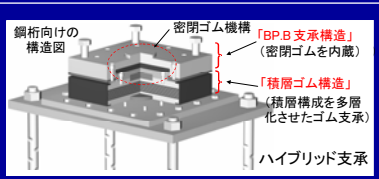
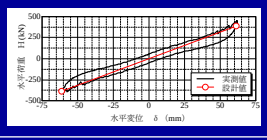
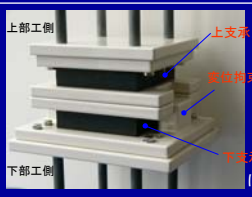
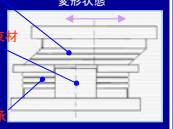
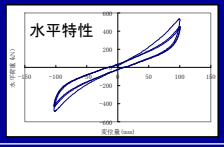
独立構造体型機能分離型支承

	ゴム系鉛直荷重支承と せん断型積層ゴム水平支承	鉛直荷重鋼製支承と せん断型免震積層ゴム水平支承
概要	 「HSB」は，鉛直力支持装置〔HiPS〕と水平力支持装置〔ゴムバッファ〕の2種類の装置で構成され，それぞれの装置が独立して機能する支承です．支承に必要な機能を分離することで，構造が単純になり、形状がコンパクトになります． ※HSB：High-Performance Stopper and Bearing	 機能分離の水平カダンパーとしてLRBを用いることにより、橋の減衰性能が安定、向上し、地震時の水平力や変位を大幅に低減することが出来ます。  ・水平方向には柔らかいため、地震の激しい 振動を和らげ、構造物の揺れを長周期化し ます。・地震がおさまったあと、ゴムの復元力で、構 造物を元の位置に戻します。
機能	①鉛直力支持機能、②水平力支持機能、③回転追随機能、④減衰機能	・LRB：水平力支持、水平力分散、変位追随、履歴減衰 ・ポット支承：鉛直力支持、回転、変位追随

独立構造体型機能分離型支承

	鉛直荷重鋼製支承と せん断型積層ゴム水平支承	鉛直荷重積層ゴム支承と 圧縮ゴム水平支承
概要	 ①水平ゴム支承は，鉛直荷重を負担しないので，水平バネ設計の自由度拡大 ②鉛直支承に鉛直剛性の高いBP・Bを用いることで桁の鉛直変位を低減し、振動問題を回避できる.	   ・ゴムの圧縮を利用するため構造的に破断が起こりにくい. ゴムの圧縮特性を利用するため，地震時の大変形を大幅に抑制することができる. 上揚力を抑制することができる. ・構造が簡単で，施工性に優れている. 圧縮変形が小さい領域では線形的な挙動を示し、ハードニング領域では圧縮 バネが急激に高くなる特性を示します。
機能	鉛直支承　：鉛直力支持、変位追随、回転 水平ゴム支承：水平力支持、及び分散	DSR装置：①水平力支持機能 ②水平移動機能　③上揚力抑制機能、スライド沓：①鉛直力支持機能 ②水平移動機能 ③回転機能

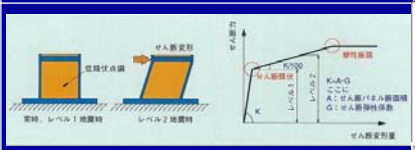
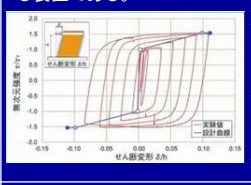
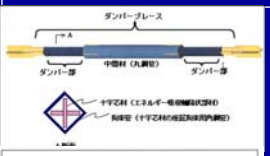
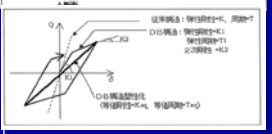
一体構造体型機能分離型支承

	鋼製支承と積層ゴムの複合型	上積層ゴムと下積層ゴムの複合型
概要	 ゴム支承の上部に回転変位追随機構を有するポットベアリングを設けることにより，ゴム支承から回転変位による制約をなくし，耐震設計の自由度を向上させた複合型支承をいう。  ゴム本体のスリム化が図れるためコスト低減となり，免震支承としての使用も可能となる。	  ばね機能複合型ゴム支承 ※一体型支承の中で鉛直・回転と水平機能を分離した地震時水平力分散型ゴム支承 ※構造は、上支承・下支承と変位拘束材で構成 地震時の変位抑制が可能となり伸縮装置、落橋防止装置などを含むトータルコストの縮減が可能 
機能	①荷重(鉛直，水平)伝達機能，②変位(水平，回転)追随機能，③減衰性能(免震支承と組み合わせた場合)④アイソレート機能	①鉛直力支持機能　②水平力支持機能　③水平移動機能　④回転機能　⑤アイソレート機能

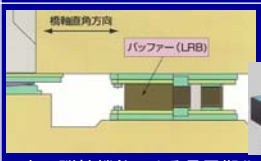
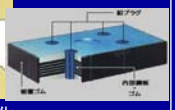
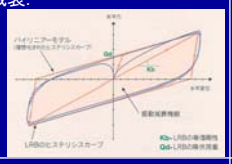
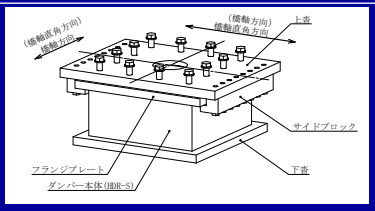
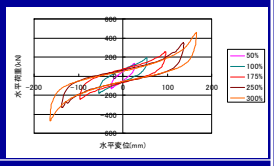
パッシブダンパー

大分類	中分類	小分類
パッシブダンパー	鋼製ダンパー	低降伏点鋼によるせん断パネル型ダンパー
		軸降伏型ダンパー
	高分子ダンパー（ゴムダンパー）	ゴムダンパー（鉛プラグ入り系）
		ゴムダンパー（高減衰系）
		熱可塑性エラストマーを用いたダンパー
	粘性ダンパー	特殊充填剤によるダンパー
		高粘性体によるダンパー
		オイルによるダンパー
	摩擦ダンパー	動摩擦抵抗力を利用したダンパー
	付加質量ダンパー	TMD

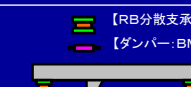
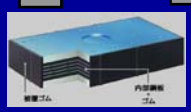
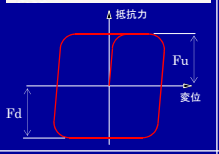
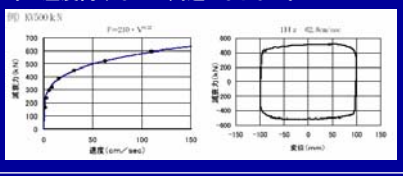
鋼製ダンパー

	低降伏点鋼によるせん断パネル型ダンパー	軸降伏型ダンパー
概要	 せん断パネル型ダンパーは，低降伏点鋼からなるパネルがせん断変形することによりエネルギー吸収を吸収し，構造物に作用する断面力を低減させる装置である。  エネルギー吸収性能が高く，地震時における水平変位は小さい。地震時応答水平変位が小さいため他の装置（伸縮装置ほか）がコンパクトとなる。	  軸降伏型ダンパーはダンパー両端部のダンパー部の鋼材ががが座屈しないで安定的に塑性化し地震エネルギーを吸収する装置である。 ダンパーの履歴曲線はバイリにアー型である。弾塑性履歴エネルギー吸収による減衰効果および部材の塑性化による等価剛性低下に伴う長周期化の効果が期待される。設置場所としては、橋梁の横構部材などに用いられる。
機能	①水平荷重伝達機能，②地震時水平変位追随機能，③減衰性能	①減衰性能，②長周期化

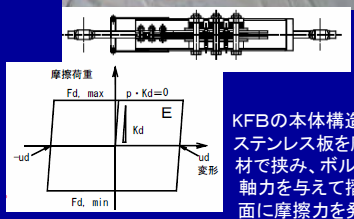
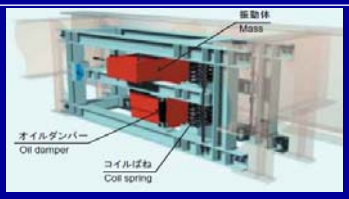
ゴムダンパー

	ゴムダンパー（鉛プラグ入り系）	ゴムダンパー（高減衰系）
概要	 LRB  ・水平弾性機能による長周期化 ・復元機能により，地震後に構造物を元の位置に戻します． ・振動減衰機能により，地震エネルギーの吸収し，振動をすみやかに減衰． ・トリガー機能により，交通振動や暴風などによる揺れを防ぎます． 	 ゴムダンパー本体は，積層構造を採用することにより安定した性能を確保できる。 水平剛性，減衰定数は，超高減衰ゴム支承(HDR-S)共通設計式に示される算定式に準拠する。 
機能	①水平力支持、②水平力分散、③変位追随、④履歴減衰	①水平荷重伝達機能，②変位（水平・回転）追随機能，③減衰機能，④アイソレート機能

粘性ダンパー

	特殊充填剤によるダンパー	高粘性ダンパー
概要	   BM－Sは、履歴曲線が長方形の摩擦減衰型で表され、エネルギー吸収効率が極めて高いダンパーです。 	 kVダンパーは、高粘性体（シリコンオイル）を用いたダンパーであり、減衰抵抗力は速度のべき乗に比例する。温度依存性など各種依存性は少なく、速度応答に大変優れる。 減衰力、速度、ストロークなどは設計要求によって対応可能である。緩速変位の抵抗力は小さく、常時の温度拘束などは問題とならない。 
機能	・RB支承：鉛直力、水平力、水平力分散、変位追随、回転・ダンパー(BM-S)：水平力支持、変位追随、履歴減衰、水平力分散	①水平荷重伝達，②地震時水平変位追随，③減衰性能減衰力　150kN～2000kN、ストローク±350㎜,最大速度150cm/sec

摩擦ダンパー・付加質量ダンパー

	摩擦ダンパー	TMD
概要	  KFBの本体構造は、ステンレス板を摩擦材で挟み、ボルトに軸力を与えて摺動面に摩擦力を発生させて地震力、変位を減衰させる装置である。ボルト軸力を調整することにより、任意の摩擦減衰が設定できる。皿バネの働きによって、安定した軸力を保持でき、基本的にメンテナンスフリーである。	 TMDは、おもり、ばね、ダンパーからなるパッシブダンパーである。TMDを構造物の揺れやすい周期に合わせておくと、おもりと構造物の間のダンパーによって、エネルギーが吸収される仕組みである。橋梁では、一般には風による振動、交通振動を抑制するために設けられている場合が多いようである。
機能	①水平荷重伝達，②地震時水平変位追随，③減衰性能減衰力　200kN～1500kN、ストローク±350mm	①減衰機能，②振動抑制機能

5. テストフィールドにおけるコスト縮減対策

（1）免震・制震設計によるコスト縮減効果
（一般高架橋）

（2）高橋脚を有する高架橋の橋梁形式
（鋼橋　，複合橋　，PC橋）

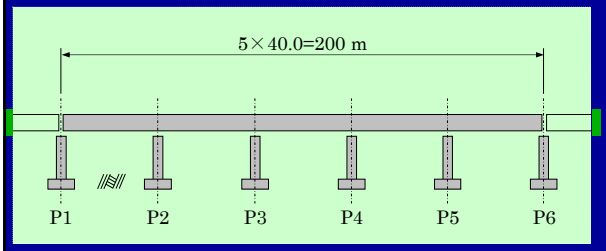
（3）高橋脚を有する高架橋の耐震対策

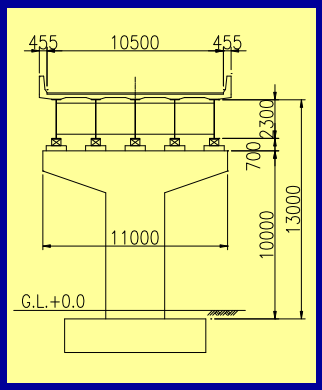
（社）建設コンサルタンツ協会
野口 二郎

（1）免震・制震設計によるコスト縮減効果（一般高架橋）

最近，急速に進歩している免震・制震技術を応用して，橋梁に作用する地震力を積極的に低減し，耐震性能の向上およびコスト縮減を実現する．

一般高架橋を対象に免震･制震設計によるコスト縮減効果について検討した．





対象とする高架橋の形式	
上部構造	５径間連続非合成Ｉ桁橋
橋脚構造	張出し式RC橋脚
直接基礎	直接基礎

図-5.1　検討で対象とした高架橋

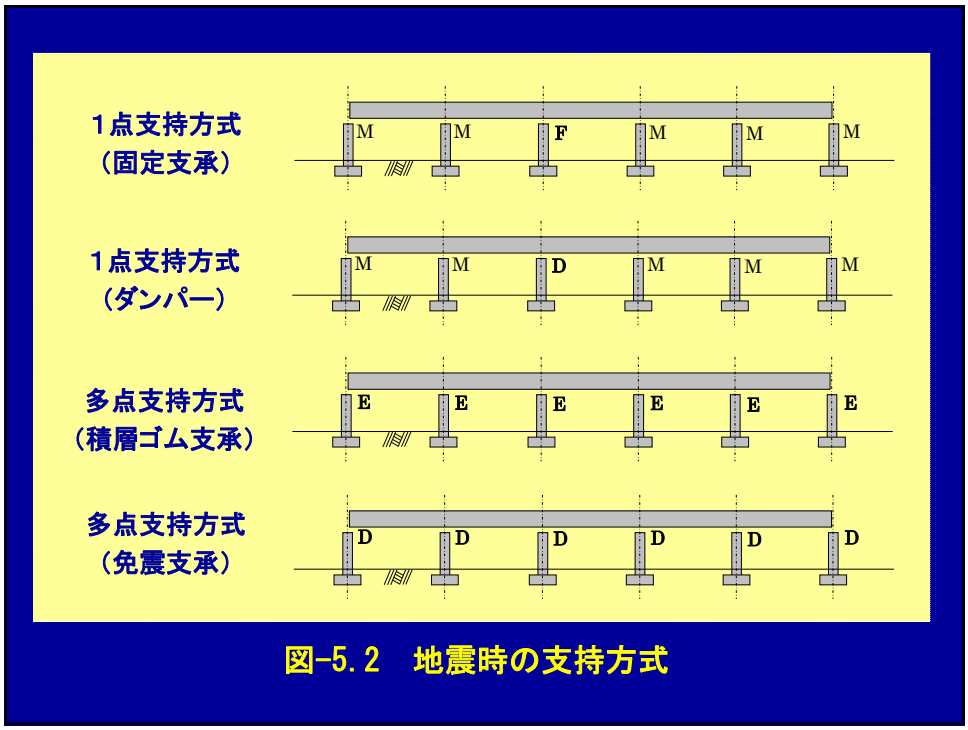


図-5.2　地震時の支持方式

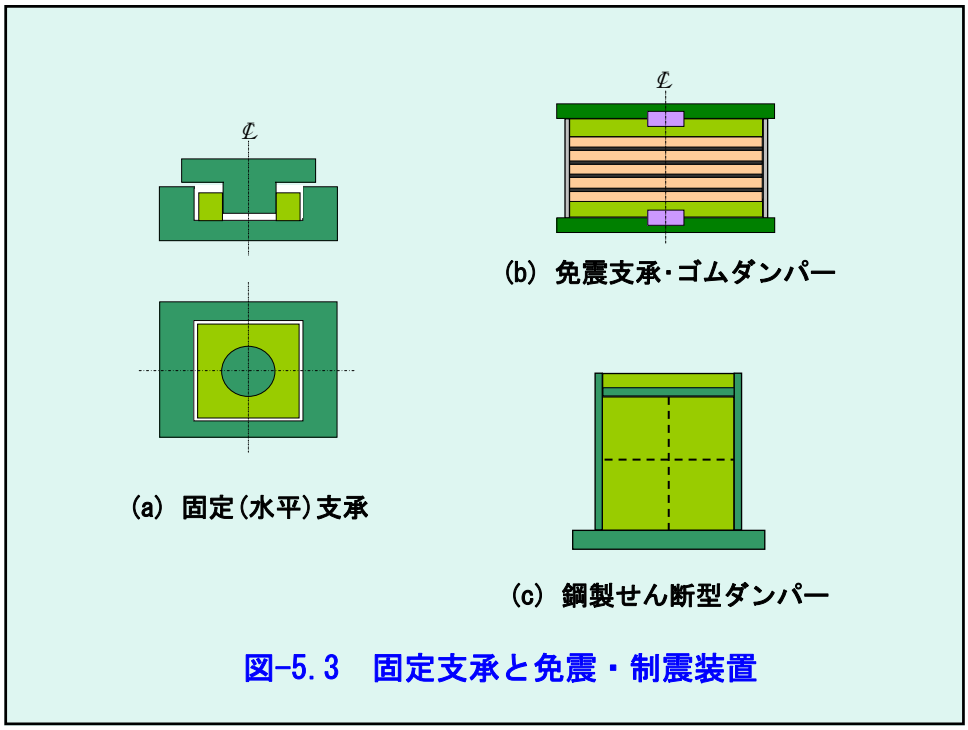


図-5.3　固定支承と免震・制震装置

表-5.1　支持条件による橋脚寸法および応答特性の比較

項 目			記号	単位	1点支持			多点支持	
要求性能（橋脚基部）			－	－	弾性範囲	塑性化	弾性範囲	同左	同左
支承装置の種類			－	－	固定支承		ｺﾞﾑﾀﾞﾝﾊﾟｰ	ゴム支承	免震支承
橋脚諸元	固定橋脚	柱寸法	L	m	7.0×4.5	5.0×3.0	5.0×3.0	4.0×2.2	4.0×1.8
		鉄筋	－	－	D51-3段	D51-2段	D51-2段	D35-2段	D35-2段
	可動橋脚	柱寸法	L	m	4.0×1.8	4.0×1.8	4.0×1.8	－	－
		鉄筋	－	－	D32-2段	D32-2段	D32-2段		
耐震性能	振動周期		T	sec	0.25	0.54→1.3	0.68→1.4	1.4	0.77→1.3
	主桁	加速度	A_G	gal	1,320	544	433	633	459
		変位	δ_G	mm	21	188	168	318	156
	支承	水平反力	H	kN	43,082	16,874	13,901	4,555	3,292
		全水平反力	ΣH	kN	43,082	16,874	13,901	22,775	16,460
		水平変位	δ_B	mm	－	－	285	138	125
	橋脚	天端変位	δ_P	mm	21	188	30	41	47

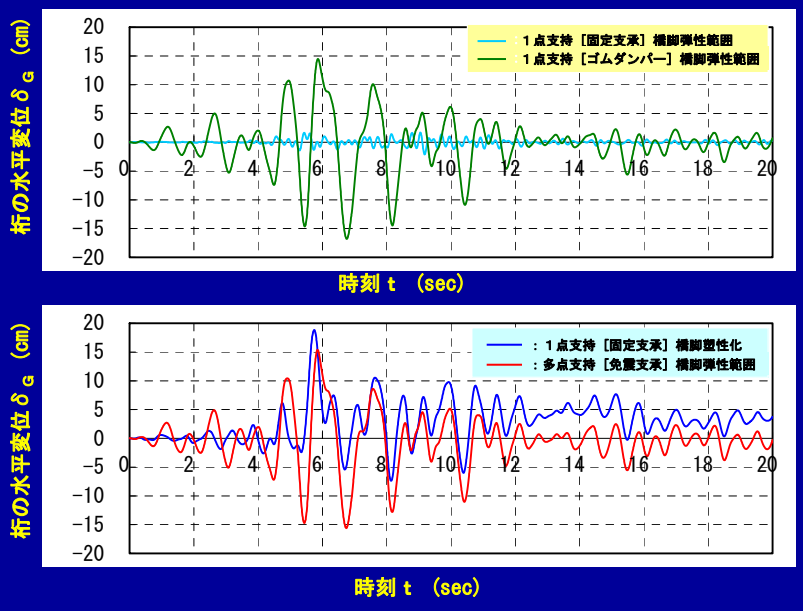
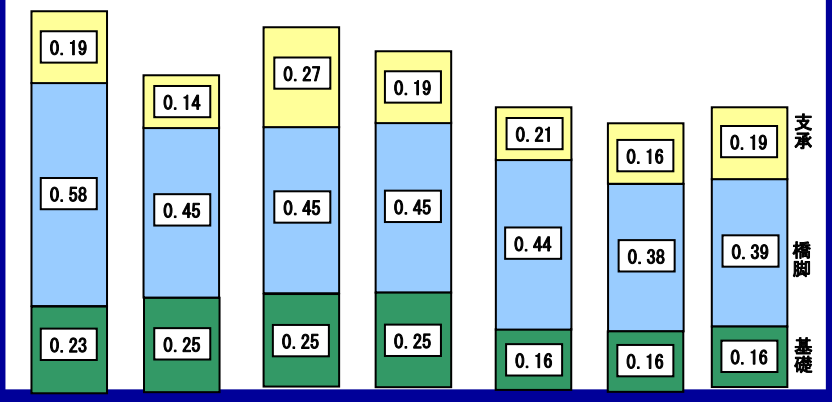


図-5.4　支持条件による主桁の応答変位波形

表-5.2　免震・制震設計によるコスト縮減効果

1点支持				多点支持		
固定支承		ｺﾞﾑﾀﾞﾝﾊﾟｰ	鋼製ﾀﾞﾝﾊﾟｰ	ゴム支承	免震支承	ｺﾞﾑﾀﾞﾝﾊﾟｰ
弾性範囲	塑性化	弾性範囲	弾性範囲	弾性範囲	弾性範囲	弾性範囲
1.00	0.84	0.97	0.89	0.81	0.70	0.74



(2) 高橋脚を有する高架橋の橋梁形式

製作・施工作業の効率化，工期短縮を目的として，構造の簡素化，プレキャスト化を行った橋梁形式，また，要求機能・性能に対応した複合構造の活用などが提案されている．これらの提案を橋梁の規模，線形条件，地盤条件，施工条件，および周辺環境などに照らし合わせて，橋梁形式が選定される．

図-5.5に示すような谷間部の橋長150mの高架橋を対象として，橋梁形式（鋼橋，複合橋，PC橋）について検討を行った．

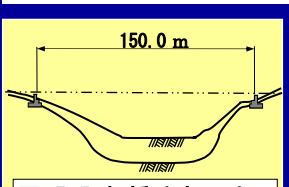


図-5.5 架橋地点の地形





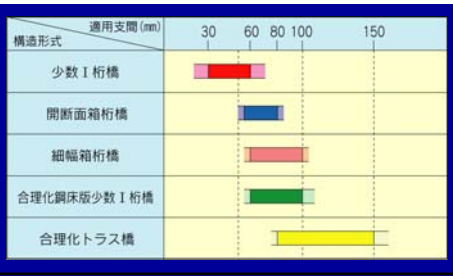
鋼橋・複合橋は支間長35~60mで経済的となる少数主桁形式を基本に橋梁形式を選定した.

a) 鋼橋

- ４径間連続合成２主I桁橋
- ３径間連続合成２主I桁橋

b) 複合橋(桁と脚が剛結構造)

- ３径間連続複合ラーメン橋(２主I桁)
- ３径間連続複合ラーメン橋(混合桁)
  (側径間:PC I桁, 中央径間:2主I桁)
- ２径間連続複合ラーメン橋
  (２重合成桁)







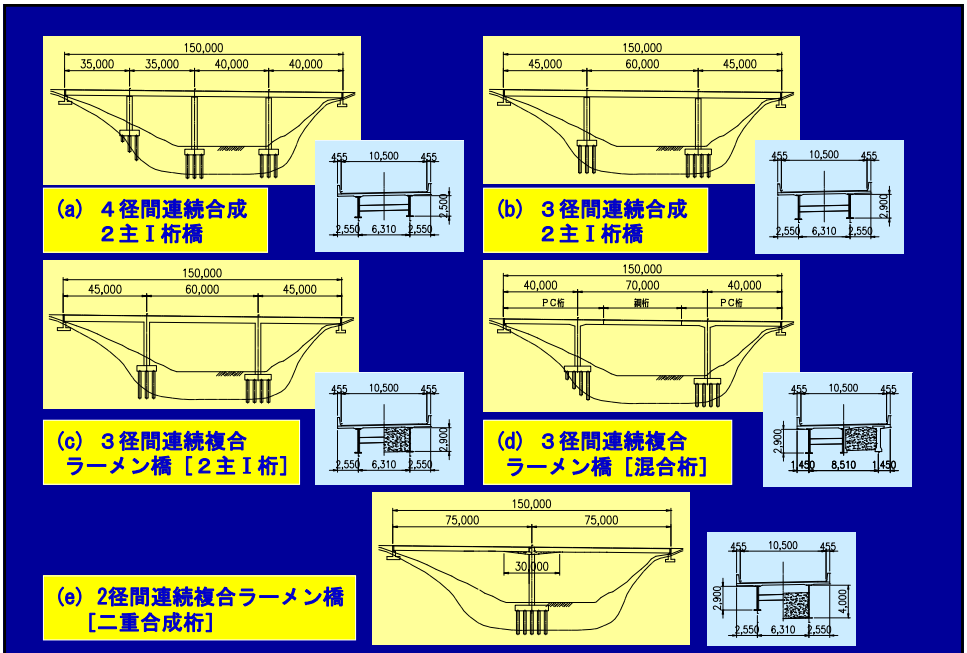
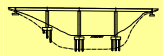
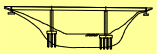
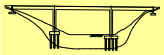
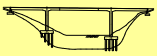
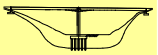
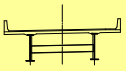
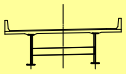
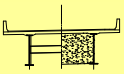
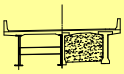
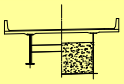


図-5.6　検討対象とした橋梁形式(鋼橋・複合橋)

表-5.3　鋼橋・複合橋形式のコスト比較

４径間連続 合成２主I桁	３径間連続 合成２主I桁	３径間連続 複合ﾗｰﾒﾝ橋 （２主I桁）	３径間連続 複合ﾗｰﾒﾝ橋 （混合桁）	２径間連続 複合ﾗｰﾒﾝ橋 （二重合成桁）
				
				
1.00	0.88	0.92	1.19	0.83
0.46 0.54	0.51 0.37	0.55 0.37	0.82 0.37	0.61 0.22

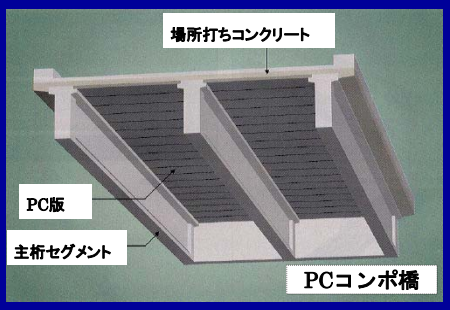
上部　下部

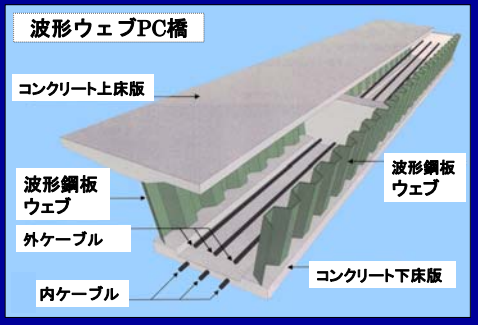
C）PC橋

・PC箱桁橋（３径間連続ラーメン）
・PCコンポ橋（４径間連結）
・波形ウエブPC橋（３径間連続）
・PC箱桁橋（２径間連続ラーメン）









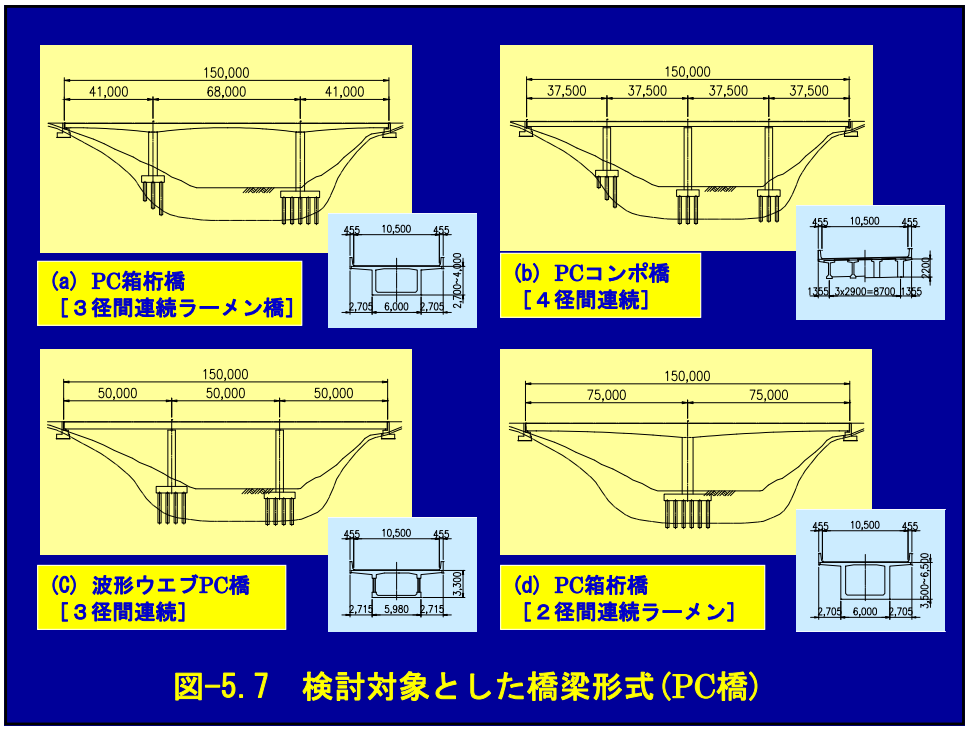
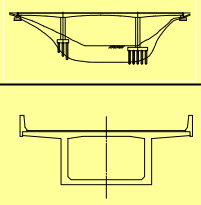
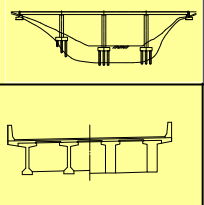
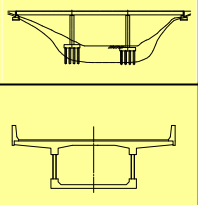
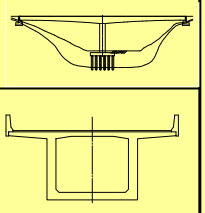


図-5.7　検討対象とした橋梁形式（PC橋）

表-5.4　PC橋形式のコスト比較

PC箱桁橋 （３径間連続ラーメン）	PCコンポ橋 （４径間連結）	波形ウエブPC橋 （３径間連続）	PC箱桁橋 （２径間連続ラーメン）
			
1.00	0.93	0.94	0.99
0.65 0.35	0.43 0.50	0.61 0.33	0.73（上部） 0.26（下部）

(3) 高橋脚を有する高架橋の耐震対策

高橋脚を有する高架橋では，一般高架橋に比べて全体工事に占める下部構造の工事費および施工期間の割合が大きい．橋脚，および基礎の構造・寸法は，架橋地点の地盤・立地・施工条件の基に耐震設計や施工法から決定される．

そこで，下部構造に着目して高橋脚の耐震対策について検討した．

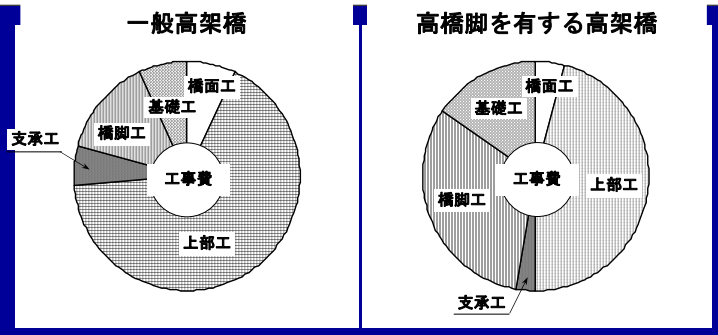
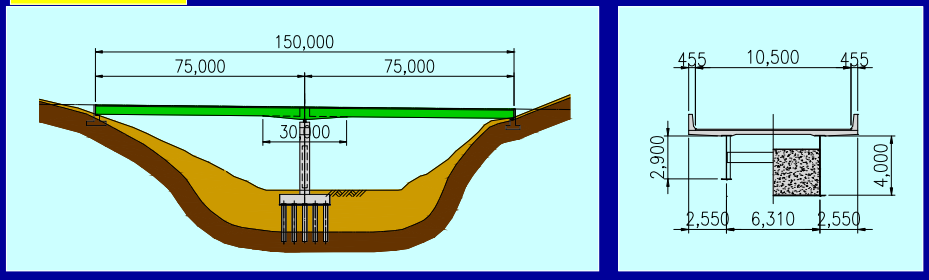


図-5.8　高架橋の工事費の割合

二重合成桁



波形ウエブPC箱桁

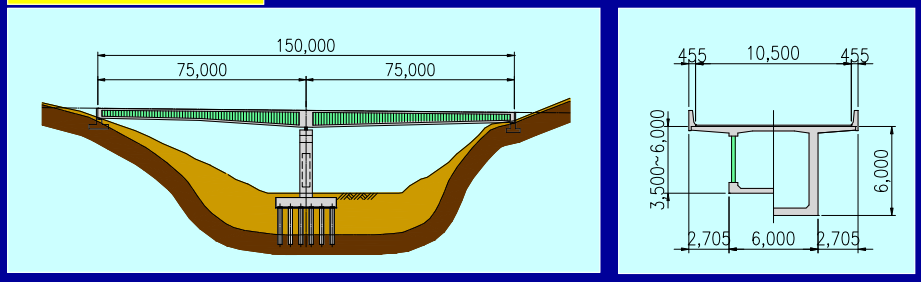


図-5.9　検討対象とした橋梁形式

表-5.5　高橋脚を有する高架橋の耐震対策

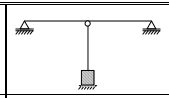
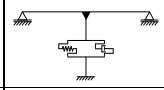
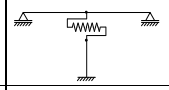
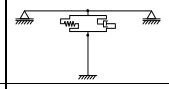
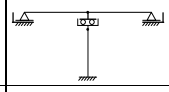
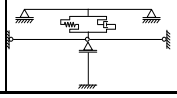
耐震対策		中間支承条件	着眼点	コストへの影響	備　考
① 固定支持方式		ピン固定	脚柱下端の塑性ヒンジ部の履歴減衰による地震力の低減効果と残留変位		高強度鉄筋の適用性
② 免震・制震橋脚（鋼製ﾀﾞﾝﾊﾟｰ）		剛結構造（橋脚:ﾄﾗｽ構造）	トラス格点部に設置したせん断型制震パネル（鋼製）の履歴減衰による地震力の低減効果と残留変位	・支承(なし)　：ｺｽﾄ減 ・橋脚・基礎　：ｺｽﾄ減 ・伸縮装置　：ｺｽﾄ増	
③ 弾性支持方式（積層ゴム支承）		弾性固定（積層ゴム支承）	長周期化による地震力の低減効果(免震)と桁の水平変位	・支承　：ｺｽﾄ増 ・橋脚・基礎　：ｺｽﾄ減 ・伸縮装置　：ｺｽﾄ増	
④ 免震・制震対策		免震支承 または 機能分離支承	支承の履歴減衰による地震力の低減効果(制震)と桁の水平変位	・支承　：ｺｽﾄ増 ・橋脚・基礎　：ｺｽﾄ減 ・伸縮装置　：ｺｽﾄ減	
⑤ 損傷制御対策（ヒューズ理論）		可動支承（すべり減衰支承）	支承損傷後の挙動，橋台パラペット部に作用する地震力	・支承　：ｺｽﾄ減 ・橋脚・基礎　：ｺｽﾄ減 ・変位制御装置　：ｺｽﾄ増 ・橋台部　：ｺｽﾄ増	過大な変位に対して，橋台パラペット部に変位制御装置を設置
⑥ 他定支持方式		可動支承 （他定ケーブル ＋ダンパー）	上部構造に作用する慣性力を分担する他定ケーブル・アンカーレッジの地震力と桁の水平変位	・支承　：ｺｽﾄ減 ・橋脚・基礎　：ｺｽﾄ減 ・他定ｹｰﾌﾞﾙ構造：ｺｽﾄ増 ・伸縮装置　：ｺｽﾄ減	

表-5.6　橋脚寸法および応答特性の比較（二重合成桁）

項　目			記号	単位	σ_{ck} = 24 N/mm^2，SD345			σ_{ck} = 60 N/mm^2，USD685	
要求性能（橋脚基部）			―	―	弾性範囲	塑性化	弾性範囲	弾性範囲	塑性化
支承装置の種類			―	―	固定支承		免震支承	固定支承	
下部構造諸元	橋脚	柱寸法	L	m	7.0×7.5	6.0×4.5	6.0×4.0	6.0×6.0	6.0×3.5
		鉄筋	―	―	D51-3段	D51-2段	D51-2段	D51-2段	D38-2段
	基礎	ﾌｰﾁﾝｸﾞ寸法	L	m	18×21.8	18×18	18×18	18×18	18×18
		杭本数	n	本	5×6	5×5	5×5	5×5	5×5
耐震性能	振動周期		T	sec	0.74	1.3→1.9	1.6→2.2	1.03	2.0→2.2
	主桁	加速度	A_G	gal	1,253	536	335	1,180	500
		変位	δ_G	mm	159	603	477	254	647
	支承	水平反力	H	kN	35,236	15,254	9,290	34,307	14,158
		水平変位	δ_B	mm	―	―	403	―	―
	橋脚	天端変位	δ_P	mm	159	603	135	254	647

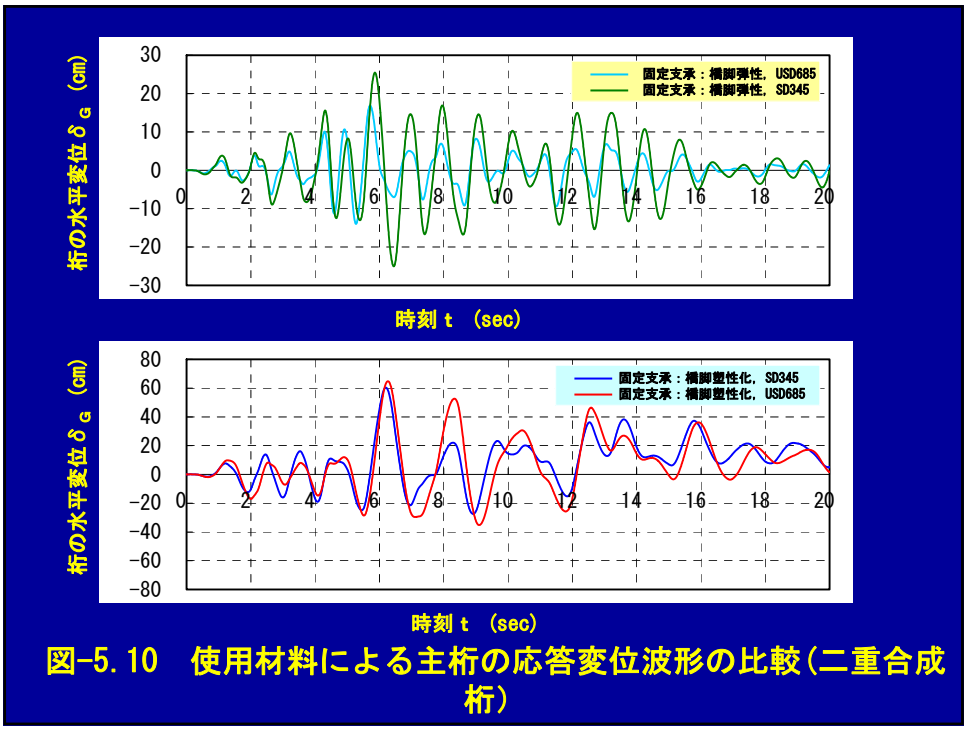


図-5.10　使用材料による主桁の応答変位波形の比較（二重合成桁）

表-5.7　耐震対策によるコスト比較（二重合成桁）

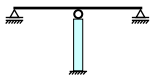
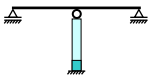
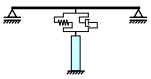
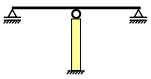
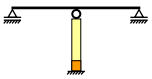
σ_{CK} = 24 N/mm², SD345			σ_{CK} = 60 N/mm², USD685	
固定支承		免震支承	固定支承	
弾性範囲	塑性化	弾性範囲	弾性範囲	塑性化
1.00	0.63	0.73	0.88	0.63
0.12 / 0.44 / 0.44	0.06 / 0.23 / 0.34	0.10 / 0.22 / 0.41	0.12 / 0.42 / 0.34	0.06 / 0.23 / 0.34

支承 上部 下部

表-5.8 橋脚寸法および応答特性の比較（波形ウエブPC箱桁橋）

項 目			記号	単位	σ_{ck} = 24 Nmm^2 , SD345		σ_{ck} = 60 Nmm^2 , USD685		
要求性能（橋脚基部）			－	－	弾性範囲	塑性化	弾性範囲	弾性範囲	塑性化
支承装置の種類			－	－	固定支承		免震支承	固定支承	
下部構造諸元	橋脚	柱寸法	L	m	7.0×8.5	6.0×5.0	6.0×4.5	6.0×7.0	6.0×4.0
		鉄筋	－	－	D51-3段	D51-2段	D51-2段	D51-2段	D38-2段
	基礎	ﾌｰﾁﾝｸﾞ寸法	L	m	21.8×21.8	18×21.8	18×21.8	18×21.8	18×21.8
		杭本数	n	本	6×6	5×6	5×6	5×6	5×6
耐震性能	振動周期		T	sec	0.70	1.2→2.0	1.6→2.2	0.93	1.9→2.0
	主桁	加速度	A_G	gal	1,132	550	291	1,207	457
		変位	δ_G	mm	138	541	464	218	642
	支承	水平反力	H	kN	46,283	22,060	11,253	49,766	17,961
		水平変位	δ_B	mm	－	－	410	－	－
	橋脚	天端変位	δ_P	mm	138	541	100	218	642

表-5.9 耐震対策によるコスト比較（波形ウエブPC桁）

σ_{CK} = 24 N/mm^2 , SD345			σ_{CK} = 60 N/mm^2 , USD685	
固定支承		免震支承	固定支承	
弾性範囲	塑性化	弾性範囲	弾性範囲	塑性化
				
1.00	0.65	0.68	0.88	0.65
