

大日本コンサルタント(株)技術統括部川神 雅秀









耐震設計上のポイント

地震慣性力を複数の下部構造に分散 地震慣性力を減衰機能・アイソレート機能により低減

固定 - 可動支持構造 ······ 一点固定支承 ····· 多点固定支承

······支承+制震装置



移動や回転を伴う支圧面は防錆防塵処理を施す. 鋳鋼品を採用する場合は、じん性を保証した材料を使用する. JISで規格値のある「SCW材」に焼きならし熱処理 を施した「SCWN材」を使用することが望ましい. 部材には応力集中を緩和する丸み付けを施す. 同一支承線上の支承に対して各個撃破対策を施す.



ゴム支承

ゴムのせん断剛性を利用して,地震時慣性力を複数の下部構造に分散させて抵抗する.

アイソレート機能により,地震慣性力が軽減出来る場合も多い.



300%以上で破断時の状態

せん断変形300%以上破断前

最近の水平力支持構造

支承部

機能分離型支承,超高減衰ゴム支承

制震デバイス

各種ダンパー 等

上部構造の水平移動拘束

両端橋台を有する連続桁橋への適用

機能分離型支承構造

支承部に要求される機能を複数の支承やデバイスで満足させ,合理的な荷重伝達構造とする.







超高減衰ゴム支承

コスト低減可能

従来品のHDRに比べ,減衰性能が20%アップし,橋梁全体工費のコストを低減(製品単価はHDR相当)可能.

優れたせん断変形性能

天然ゴム系支承に比べせん断変形性能に優れ,大地震時の 繰り返し変形に対し安定した性能を発揮する.

ゴムの物理的性質 従来の高減衰ゴム支承に 使用するゴム材料規格相当.





ダンパーとは,粘性型ダンパーや摩擦型ダンパー等の エネルギー吸収装置を支承部に併用することで地震の 影響を低減する装置.



両端橋台により桁の水平変位を拘束

<上部構造の地震応答を小さくする手段> 免震支承やダンパー併用の機能分離型支承構造の採用など 減衰材を用いて地震慣性力を小さく抑える方法 橋台部の遊間を常時や震度法レベルの変位に小さく設定し、 けたと橋台パラペットを衝突させ、けたの変位を抑える方法

(変位拘束)

応答変位 小

けた衝突を考慮した耐震設計により, 上部工の地震時水平変位を小さ4抑え,中間 橋脚は上部工の軸力のみを保持すればよい 新しい構造形式と耐震性能照査手法の提案.







解析の際に必要となるモデル化とは?

構造形状(構造物の形)のモデル化 質量の大きさや配置のモデル化 実験などにより検証された部材の復元力のモデル 減衰力のモデル化 境界条件のモデル化 地震動のモデル化

桁橋の構造形状のモデル化



設計振動単位



連続桁橋のモデル化の例



支承のモデル化

可動-固定支承のモデル化

可動支承と固定支承を再現するばねを配置し,ばね定数によりそれ らの支承条件を再現,あるいは,多重節点を用いて,可動,固定ある いはヒンジの境界条件を再現



積層ゴム支承と免震支承のモデル化









積層ゴム支承



ゴム支承の大変形域におけるせん断性能のモデル化

ゴムのハードニング特性を考慮した評価式を実験結果より設定









衝突バネの評価式

川島等は,衝突ばねを用いる場合のばね定数を 次式に基づいて算定すればある程度衝突現象を再 現できることを示している.

$\mathbf{K} = \mathbf{E}\mathbf{A}/\mathbf{L}$

ここに,Eは上部構造の材料の弾性係数,Aは上部 構造の換算断面積,Lは有限要素解析における上部 構造の要素長.

鋼製橋脚のモデル化

ファイバーモデル ・鋼材の応力ひずみ関係は移動硬化則バイリニアモデル.



モデル

- ・鋼材の応力ひずみ関係は移動硬化則バイリニアモデル
- ・降伏曲率と曲げモーメント
 平面保持の仮定に基づき,軸力の影響を考慮し圧縮縁及び引張縁の鋼材の板厚中心位置におけるひずみが初めて降伏ひずみに達する曲率と曲げモーメントを算定.
- ・許容曲率と曲げモーメント

圧縮縁の鋼材板厚中心位置におけるひずみが許容ひずみ に達する時の曲率と曲げモーメントを算出.



コンクリート充填断面部





動的解析法の種類は?

動的解析法

レベル1地震動 弾性応答解析 レベル2地震動 弾塑性応答解析

最大応答 時刻歴応答 最大応答 時刻歴応答

応答スペク Hレ法 時刻歴応答解析法 等価線形化法を用 時刻歴応答解析法 (逐次積分法) いた応答スペクトレ法 (逐次積分法) (モート合成法)

等価線形化法を用 いた時刻歴応答解析法



検討項目

鋼製橋脚を有する連続桁橋の非線形動的挙動 解析ソフトの違い 橋脚モデルの違い 支承構造の違い(可動-固定支承,免震支承) 桁間衝突

連続桁橋の耐震安全性と使用性の照査例 変位,ひずみ,支承ひずみの照査検討例

二機関による動的解析結果の比較

使用ソフト オリジナルプログラム:宇都宮大学(UU) 汎用ソフトTDAP:大日本コンサルタント(DC)

・比較内容

ファイバーモデルと解析ソフトの違い(UU とDC) ファイバーモデルとM- モデルとの比較 支承モデルの違い(バイリニアとトリリニア型)



鋼製橋脚のモデル



橋脚断面は震度法に基づき設計

$$\frac{vN_i}{N_{iY}} + \frac{vM_i}{M_{iY}} \le 1.0$$





両機関の固有周期比較

可動-固定 支承

モード	UU	DC	UU/DC	卓越モード
1	0.831120	0.831185	0.999922	P2,P3橋脚曲げ
2	0.365732	0.365043	1.001887	桁曲げ
3	0.291610	0.290960	1.002237	桁曲げ
4	0.205864	0.205693	1.000830	桁曲げ
5	0.093639	0.093144	1.005305	桁曲げ
6	0.088641	0.088152	1.005545	桁曲げ
7	0.078352	0.078871	0.993429	桁曲げ
8	0.066261	0.066636	0.994374	P2,P3橋脚曲げ
9	0.048828	0.048464	1.007519	P1,P4橋脚曲げ
10	0.048828	0.048407	1.008691	P1,P4橋脚曲げ
モード	UU	DC	UU/DC	卓越モード
1	1.904080	1.904671	0.999690	橋脚と支承変位
2	0.365452	0.364824	1.001722	桁曲げ
3	0.292581	0.292035	1.001870	桁曲げ
Λ	0 200222	0 200212	1 000526	がたました



	1.904000	1.904071	0.999090	何脚と又所反位
2	0.365452	0.364824	1.001722	桁曲げ
3	0.292581	0.292035	1.001870	桁曲げ
4	0.209322	0.209212	1.000526	桁曲げ
5	0.092909	0.092634	1.002974	桁曲げ
6	0.089853	0.089610	1.002716	桁曲げ
7	0.082821	0.083231	0.995074	桁曲げ
8	0.071750	0.071542	1.002903	P2橋脚曲げ
9	0.066243	0.066616	0.994391	橋脚曲げ
10	0.059035	0.058832	1.003455	P1 , P4橋脚曲げ

両機関の固有周期の比較



両機関での調整

- 入力データ
- ・断面諸量の与え方
- ・軸力の考慮(幾何学的非線形性)
- 単位系 (重力加速度の値,9.8 or 9.80665m/s²)
- •固有値解析に用いる免震支承のばね定数



 $I = \sum y^2 A$



- •P3橋脚頂部の水平変位時刻歴
- •P3橋脚頂部水平力一水平変位関係
- •P3橋脚頂部免震支承の復元力特性

可動・固定支承モデルの比較



免震支承モデルの比較



P3橋脚頂部水平変位時刻歴 (名古屋道路公社の免震支承) P3橋脚頂部免震支承の復元力特性 (名古屋道路公社の免震支承)



衝突解析用のモデル橋

- •P4橋脚頂部の水平変位時刻歴
- P 4橋脚頂部免震支承の復元力特性
- ・ 衝突力および落橋防止構造の力の時刻歴





P4橋脚頂部水平変位時刻歴 (衝突モデル) P4橋脚頂部免震支承の復元力 特性(衝突モデル)



(衝突モデル)

落橋防止構造の力の時刻歴 *(*衝突モデル)



衝突力や落橋防止構造に作用する力に大きな差異 が見られた原因

- 1次剛性と2次剛性の間に、衝突ばねで10⁶、落橋防止で10⁸
 ほどのオーダーの差異があり、変位の僅かな誤差が大きな 力の誤差を生む。
- ・剛性が急変した場合の収束計算のやり方や収束判定条件が 違っていることも影響.



衝突力および落橋防止構造作用力の収束状況





要求性能の下位の表現

要求性能(レベル2地震動)						
基本 『 性能 お	限界	評 価 性 能	照 査 指 標	照査 (S £R)		
	状態			応答値 S	限界值 R	
		変位	最大応答変位	終局変位		
構造	構造 安全 終局	変形			d _u	
安全		性能	ひずみ	最大応答ひずみ	終局ひずみ	
作生 #~~ /0				e _{max} , g _{nax}	$\mathbf{e}_{u, i}$	
		低サイ クル疲 労	ひずみ	累積疲労損傷度	限界疲労損傷度 (マイナー和=1.0)	
地震後の	地震後の住田	機能保 持性 3	変位	残留変位	残留変位制限値	
使用 使用 性	使用 (指傷)			最大応答変位	変位制限値	
		復旧性	ひずみ	最大応答ひずみ	ひずみ制限値	



耐震安全性の照査の項目

- 鋼製橋脚の変位 ,ひずみ ,曲率
- 金属支承の応力,ゴム系支承のせん断ひずみ
- 落橋防止構造の応力

鋼製橋脚の限界ひずみの算定法

$$\frac{\boldsymbol{e}_{u}}{\boldsymbol{e}_{y}} = \frac{0.8(1 - P/P_{y})^{0.94}}{(R_{f} \overline{\boldsymbol{I}}_{s}^{0.18} - 0.168)^{1.25}} + 2.78(1 - P/P_{y})^{0.68}$$

鋼製橋脚の限界変位の算定法

既往の限界変位の推定式を用いる. あるいは,対象橋脚のプッシュオーバー 解析により,上記限界ひずみに到達時 の変位を限界変位とする. 有効破壊長 Le区間の 平均ひずみで評価

$$L_e = \min(0.7b, h)$$

耐震安全性の照査の項目

- 鋼製橋脚の変位 ,ひずみ ,曲率
- 落橋防止構造の応力
- 金属支承の応力,ゴム系支承のせん断ひずみ

限界応力の算定

金属支承や落橋防止構造の部材の降伏応力に基づいて算定

応答せん断ひずみの算定と限界せん断ひずみ

(ゴム支承の相対変位 / 支承高さ)で算定,限界せん断ひずみ 250%あるいは300%

地震後の使用性照査の項目 - 鋼製橋脚の残留変位

残留変位の算定法

動的応答解析に基づく残留変位の算定精度はよくないので, 最大変位に基づいて残留変位を算定

$$\frac{\boldsymbol{d}_{R}}{h} = \frac{1}{200} \left(\frac{\boldsymbol{d}_{\max}}{\boldsymbol{d}_{y}}\right)^{0.75} - \frac{3}{400}$$

残留変位制限値 R)lim 橋脚高さの1/100などの値







動的応答解析時の橋脚頂部水平 変位時刻歴と限界変位の関係

動的応答解析時の着目ひずみの 時刻歴と限界ひずみの関係



- 連続桁橋の耐震挙動に関するベンチマーク モデルの弾塑性地震応答解析を2つの機関で 実施し、両者の結果を詳細に比較し、解析 結果が良く一致することを確認した。
- 連続桁橋の耐震安全性と地震後の使用性照 査の例として、上記の解析例で対象とした 連続桁橋モデルを用いて耐震安全性および 地震後の使用性照査の方法および具体的な 照査例を示した。



動的解析結果の信頼性向上

- ・設計者自身の解析スキルの研鑽
- ・解析結果の妥当性検証の簡易化
- ・ソフトウェアの違いが及ぼす影響の事前検証
- ・モデル化の違いが及ぼす影響の事前検証

解析結果のバラツキ

ソフト間のバラツキ5%程度? 収束計算・不平衡力の処理 解析条件(計算時間刻み,復元カモデル)

モデル化の影響 モデル化の違い 離散化の相違 数値計算誤差

構造モデル,荷重モデル,境界条件 履歴モデル,粘性減衰,材料定数 構造モデル(部材要素,要素分割数等) 荷重モデル 演算の際の丸め誤差 部材剛性 部材長・バネ値等の極端な差 質量の配分,入力データの有効桁数

