

東日本大震災をうけて、耐震最新情報：
橋梁の被害状況と耐震設計

鋼構造委員会 東日本大震災・鋼構造物の調査および検討特別委員会 委員長

高木 千太郎

((財)東京都道路整備保全公社)

東日本大震災をうけて

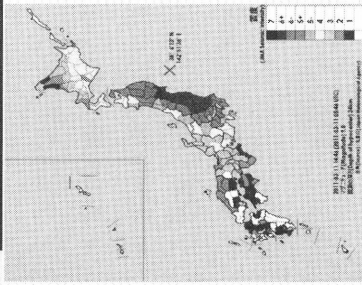
橋梁の被害状況と耐震設計



土木学会鋼構造委員会
 東日本大震災の鋼構造物調査特別小委員会
 委員長 高本 千太郎

東北地方太平洋沖地震発生と余震

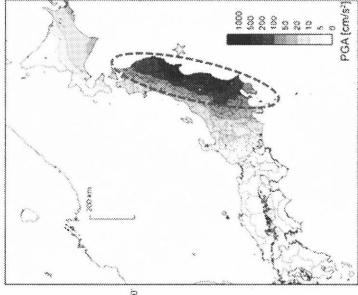
- 平成23年3月11日(金)午後2時46分ごろ
- 牡鹿半島の東南東沖約130kmが震央、深さ24kmとするMw9.0の地震が発生
- 地震発生後60日間の余震は、震度7が1回、震度6強が2回、震度6弱が2回、これらを含む震度4以上が158回と近年の地震の中でも非常に多い



気象庁HPより引用

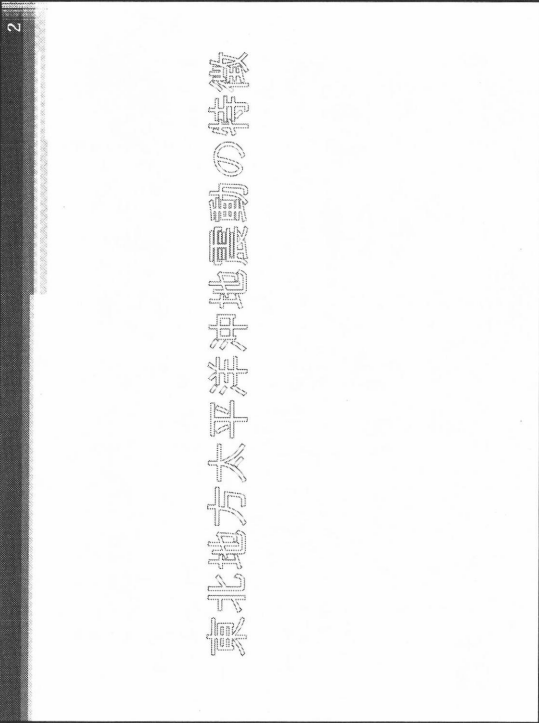
東北地方太平洋沖地震の加速度

- 2933 cm/s/sの強い加速度を観測
震源に近いK-NET築館観測点(宮城県)
- 200 cm/s/sを超える強い加速度を茨城県から岩手県南部にかけての広い範囲で観測
- 強い加速度分布は、岩手県から宮城県、福島県、栃木県から茨城県の3カ所に延びている。
- これら強い揺れは、糸魚川-静岡構造線付近を超えると急激に弱まっている。

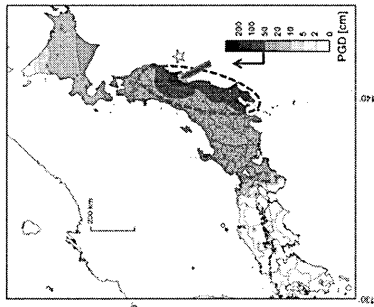


気象庁HPより引用

東北地方太平洋沖地震動の特徴



東北地方太平洋沖地震の地動変位



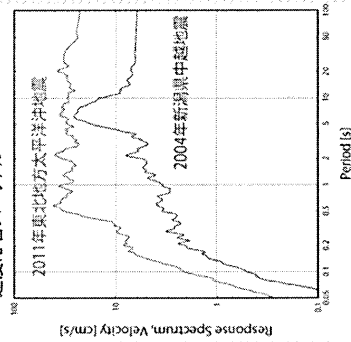
- 東北地方から関東地方にかけて最大50 cmを超える大きな地動変位が発生した。
- 今回の地震における地動変位の特徴としては、100 cmを超える大きな地動変位が仙台平野及び太平洋沿岸の一部に発生した。

5

橋梁耐震設計の変遷

東北地方太平洋沖地震の首都伝播

速度応答スペクトル



東京における速度応答スペクトル

- 周期7秒前後の長周期地震動(2~20秒)が0.5~20秒の広い周期帯で発生した。
- 新潟県中越地震(2004)においては、今回と同様な長周期地震動が発生し、都内の超高層ビルが被災した。

東京大学地震研究所HPより引用

6

近代の主な地震と被害

- 濃尾地震(1891): 耐震設計なし、橋梁など大被害
- 関東大地震(1923): 震度法概念建物あり、下部倒壊・落橋
- 福井地震(1948): 震度法による耐震設計、下部倒壊
- 新潟地震(1964): これ以降液化状化考慮、落橋等
- 宮城沖地震(1978): これ以降変形性能と韌性に着目
- 兵庫県南部地震(1995): 観測史上初の震度7(激震)
2段階の地震動を想定等
- 十勝沖地震(2003): 長周期地震動に着目

8

道路橋耐震設計基準の変遷

年代	設計基準	耐震設計法の概要	落橋防止装置	液化化対策
1990(H2)	道路橋示方書	新たな震度法(地域別、地震別、重要度別等) RC橋脚の耐力照査	落橋防止装置設置	液化化判定範囲の拡大
1995(H7-8)	復旧仕様及び道路橋示方書	強度向上と変形性能重要度併有水平耐力照査動的解析等	落橋防止システムの設置	液化化判定範囲の拡大・ 液化化判定方法の改定(判定範囲、地震力、地震定数削減)
2002(H14)	道路橋示方書	性能規定基準耐震性能1~3動的解析の活用	同上	

9

道路橋支承の変遷

年代	設計基準	概要
1973(S55)	道路橋支承便覧	支承の設計、製作、架設の詳細を示す指針(支承設計の耐震設計見直しは宮城県沖地震の被災経験)
1995(H7)	復旧仕様及び道路橋示方書	支承にはゴム支承の採用が望ましい 高架構には免震支承を用いた弾性固定方式による分散構造の採用を示唆
2002(H8-14)	道路橋示方書	免震設計法を規定 支承を重要部品として位置づけ、タイプAとタイプBを区分

11

鉄道橋耐震設計基準の変遷

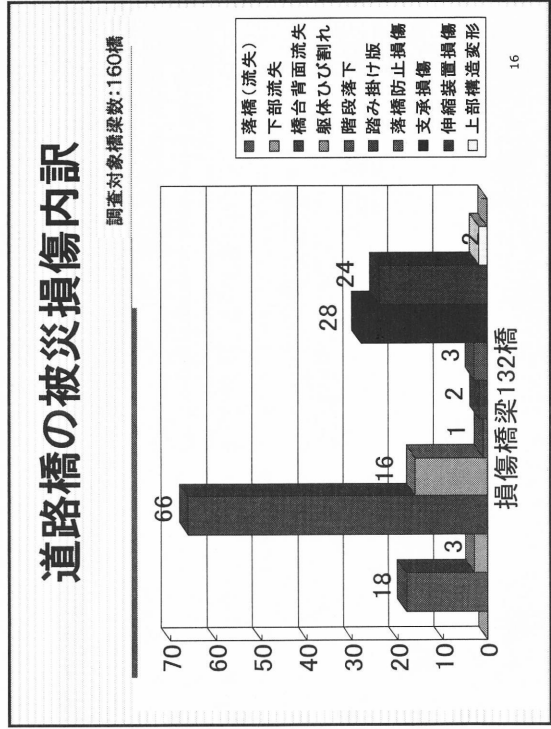
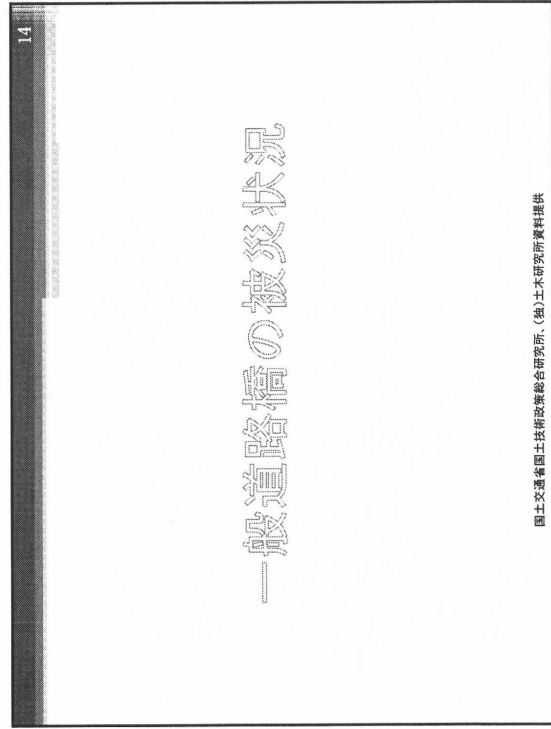
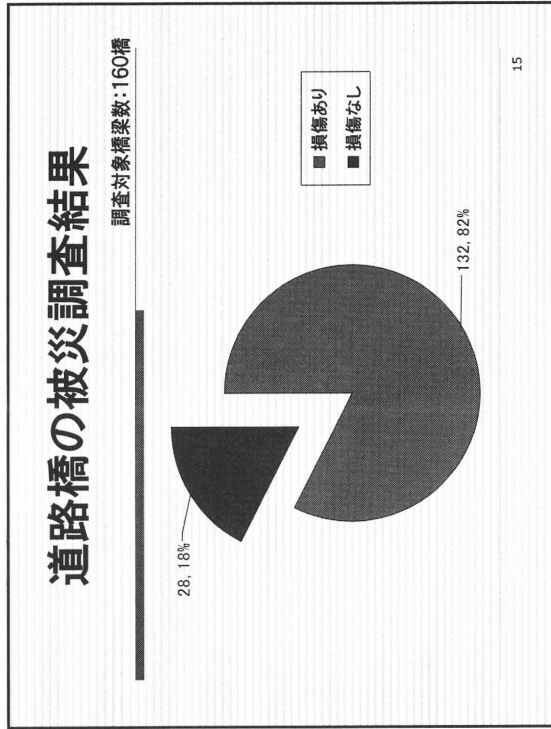
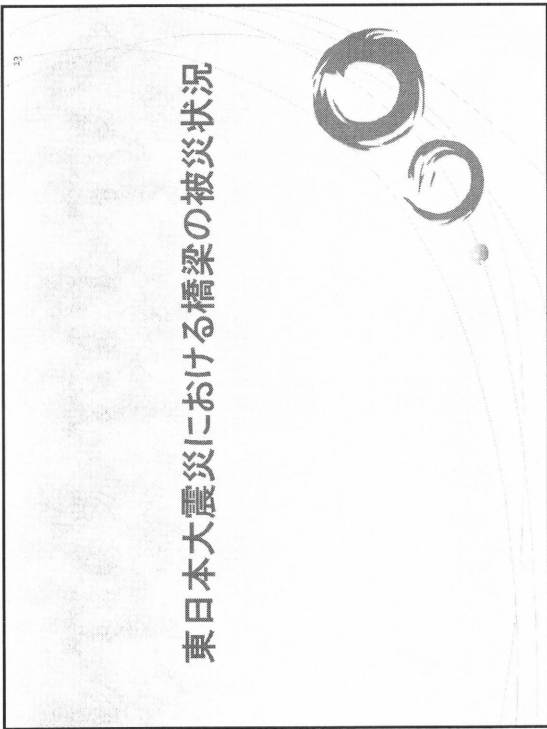
年代	設計基準	耐震設計法の概要
1983(S58)	鉄道物設計標準	変形性能によるエネルギー吸収震度法による設計 固有周期0.3秒未満は震度法、以上は、修正震度法 補正係数の導入(地域別、地震別、応答係数等)
1991(H3)	鉄道構造物設計標準	許容応力設計法から限界状態設計法へ移行
1999(H11)	鉄道構造物等設計標準	1)地震動、L2地震動の弾性加速度応答スペクトルによる設計等(兵庫県南部地震被災の経験を活かす)

10

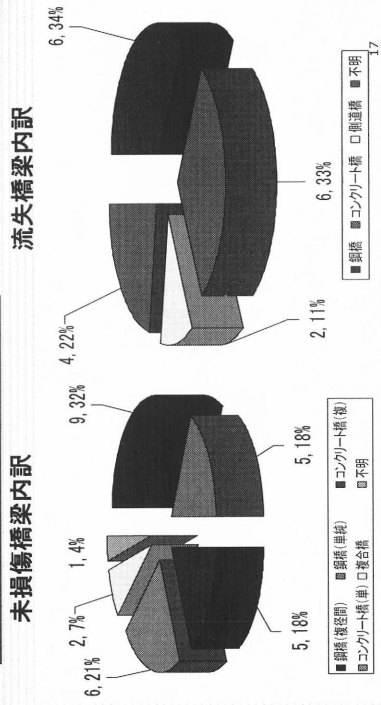
鉄道橋支承の変遷

年代	設計基準	概要
1970(S45)	鉄道物設計標準	桁長と支点反力によって適用する可動支承の種類を規定 支承設計に用いる組み合わせ荷重と許容応力度割増係数 桁座の設計法を規定
1996(H8)	支承部の耐震補強設計の手引き	大規模地震時の支承構造に損傷を許容 落橋防止装置の設置を記述 移動制限装置に終局限界状態の設計を実施
1999(H11)	鉄道構造物等設計標準	支承部損傷レベルの設定 水平力分散支承の記述

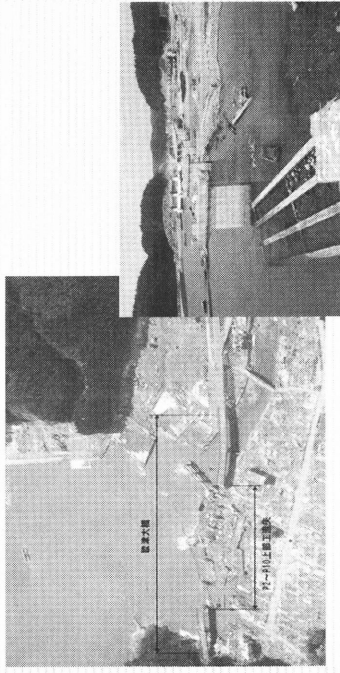
12



道路橋被災調査結果



道路橋の被災(落橋・流失)

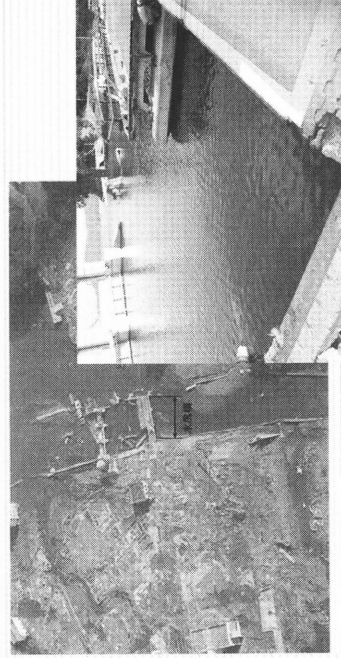


【歌津大橋】

国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所資料提供

19

道路橋の被災(落橋・流失)

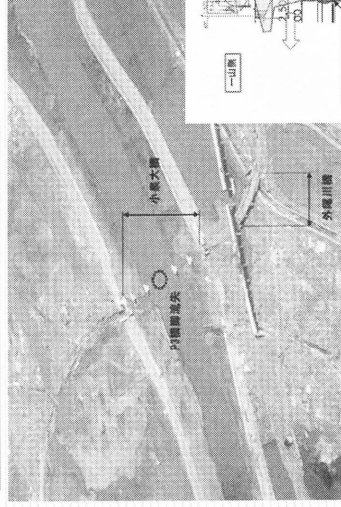


【水尻橋】

国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所資料提供

18

道路橋の被災(下部流失)



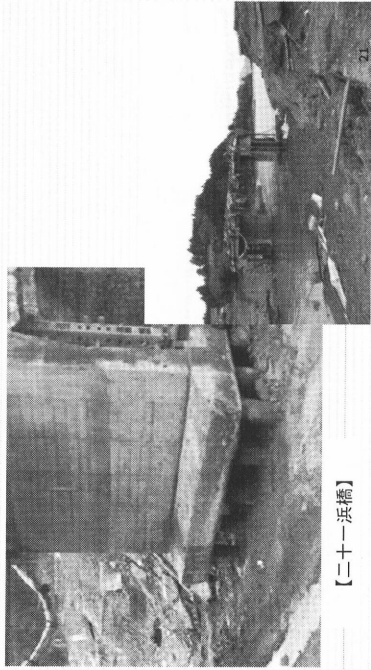
【小泉大橋】

国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所資料提供

20

下部流失想定図

道路橋の被災(橋台背面流失)

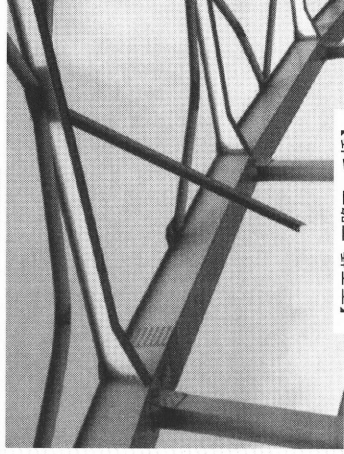


【二十一浜橋】

21

国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所資料提供

道路橋の被災(上部構造損傷)

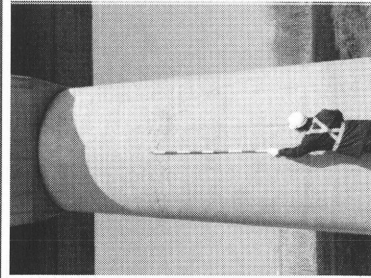


【天王橋・下路ア一子橋】

23

国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所資料提供

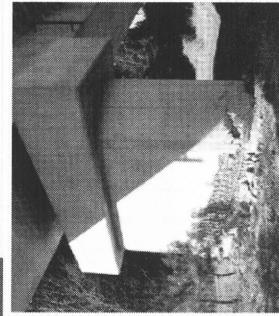
鉄筋コンクリート橋脚のひび割れ損傷



【国田大橋・固定脚】

22

国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所資料提供

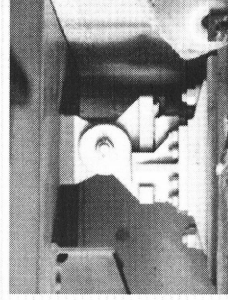


【江崎大橋】

道路橋の液状化による損傷



下部工周辺地盤の沈下



下部移動による可動支承の残留変位

【美浜大橋】

24

国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所資料提供

道路橋の被災(支承部周辺の損傷)



【国田大橋】

【大宮陸橋】

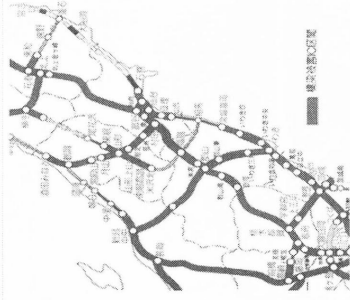
25
国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所資料提供

自動車専用道路・東日本高速道路

●27

東日本高速道路㈱・株高速道路総合技術研究所資料提供

自動車専用道路(東日本高速道路)の被災



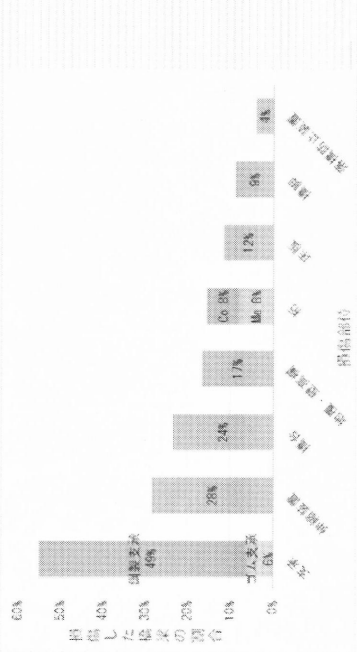
地震による被災の概要は、東北道、常磐道、仙台東部道路、三陸道、仙台北部道路、磐越道、山形道、東水戸道路など8路線と広範囲に及んだ。今回損傷した橋梁数は、約100橋である。

28

自動車専用道路橋の被災状況

26

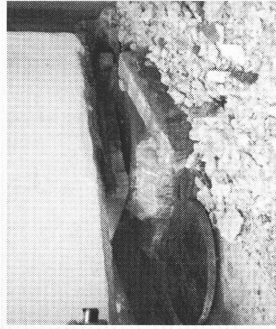
東日本高速道路橋梁被災の内訳



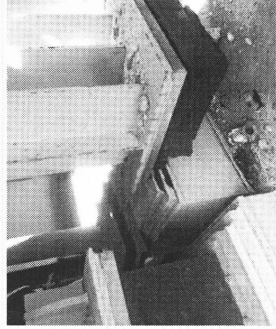
東日本高速道路橋梁被災の内訳「橋脚と基礎」引用

29

支承の損傷



東北道 新滑川橋

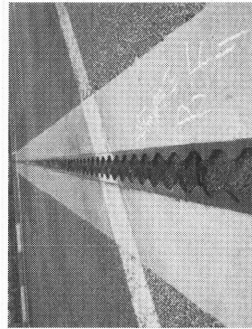


仙台東部高架橋

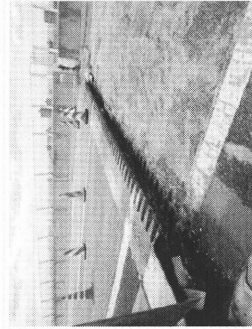
東日本高速道路橋梁被災の内訳「橋脚と基礎」引用

31

伸縮装置の損傷



東北道 新滑川橋

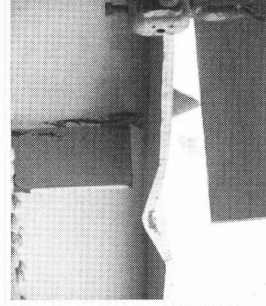


仙台東部高架橋

東日本高速道路橋梁被災の内訳「橋脚と基礎」引用

30

鋼部材の損傷(座屈・溶接部破断)



東日本高速道路橋梁被災の内訳「橋脚と基礎」引用

自動車専用道路・首都高速道路

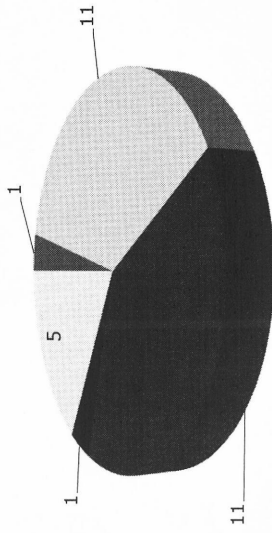
...

首都高速道路御資料提供

● 33

首都高速道路の地震被災内訳

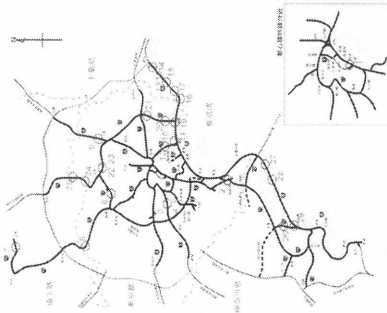
損傷内訳



■ 部材損傷 ■ 路面損傷 ■ 伸縮装置損傷 ■ 支承損傷 ■ その他 35

自動車専用道路(首都高速)の被災状況

東北地方太平洋沖地震による首都高速の損傷箇所位置図

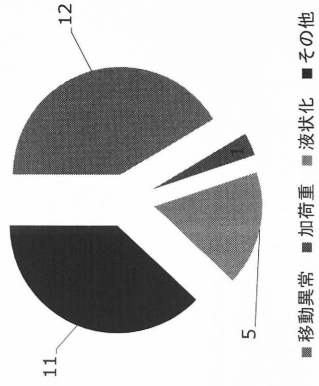


- 首都高速道路の損傷は、東京都、埼玉県、神奈川県に及び橋梁、舗装、トンネルなど29か所が被災した。

34

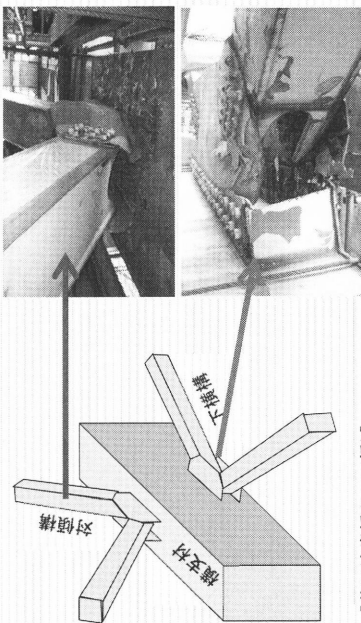
本地震による損傷要因

損傷要因



■ 移動異常 ■ 加荷重 ■ 液状化 ■ その他 36

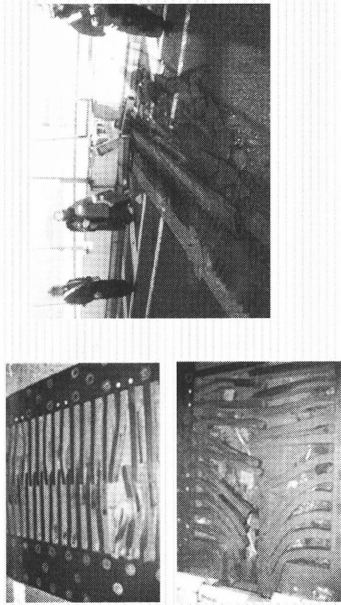
上部構造・鋼部材の損傷(座屈)



【荒川湾岸橋(トラス橋)】

37
首都高速道路路橋資料提供

伸縮装置の損傷



39
首都高速道路路橋資料提供

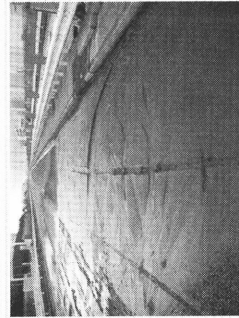
上部構造・鋼部材の損傷及び支承損傷



【湾岸線(神奈川)大黒JCT】

38
首都高速道路路橋資料提供

路面の被災(液状化現象)



【湾岸線(神奈川)東扇島】

【湾岸線(千葉)舞法】

40
首都高速道路路橋資料提供

41

鉄道橋の被災状況

東日本旅客鉄道株式会社提供

鉄道橋(関連施設含む)の被災概要

2011.3.11地震による被災

	在来線 36線区	約2900km
橋梁、高架橋の損傷		約120か所
盛土、切土等の損傷		約170か所
電化柱の損傷		約1,150か所
駅舎の損傷		約80駅

43

鉄道橋の被災概要

2011.3.11地震による被災

	東北新幹線 大宮～新青森間	
橋桁のずれ		2か所
支点部の損傷		約30か所
電化柱の損傷		約540か所
防音壁の落下等		約10か所

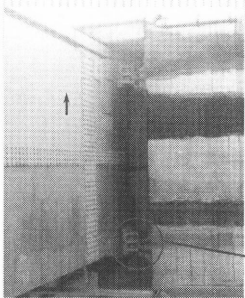
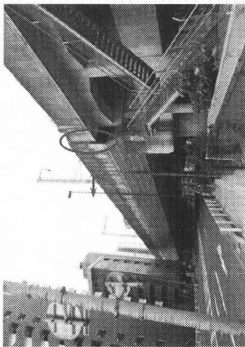
42

鉄道橋の被災(主として津波)概要

	在来線 (津波) 7線区	
橋桁の流失・埋没		約101か所
橋梁、高架橋の損傷		約30か所
駅舎の流失・埋没		23駅
電化柱の損傷		約950か所

44

橋梁、高架橋の損傷事例



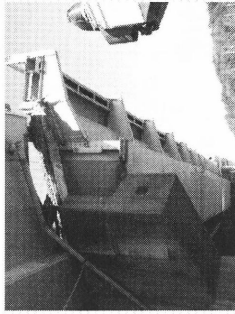
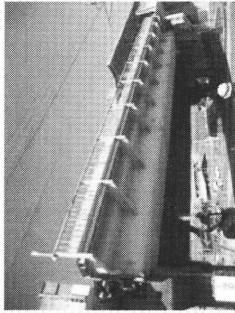
ピン支承の損傷

45

東日本旅客鉄道御資料提供

在来線の損傷事例

支承損傷による主桁の移動



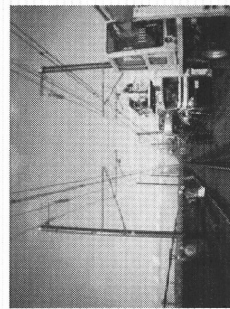
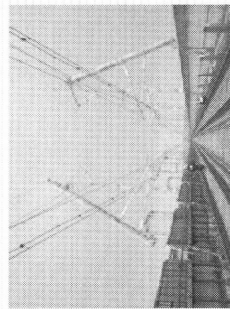
【鹿島線 延方～鹿島神宮間】

47

東日本旅客鉄道御資料提供

新幹線電化柱の損傷事例

電化柱の折損



損傷状況

復旧状況

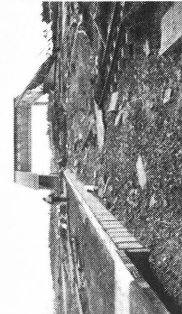
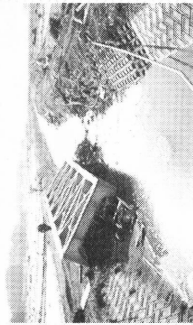
【水沢江刺～北上間】

46

東日本旅客鉄道御資料提供

在来線の損傷事例（津波による）

桁及び軌道流失、昇降施設存置



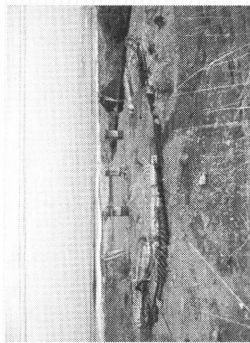
【常磐線 新地～坂元】

【常磐線 新地駅構内】

48

東日本旅客鉄道御資料提供

在来線の損傷事例(津波による)



【八戸線 宿戸～陸中八木】

49
東日本旅客鉄道資料提供

道路橋の主な被災

- 地震動による被災
 - 1980(S55)以前の耐震基準で設計、耐震補強未実施
軸方向鉄筋段落とし部の損傷、支承の破損、部材座屈等
 - 橋台背面の沈下
- 津波による被災
- 地盤の液状化による被災

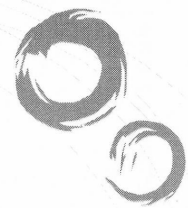
51

鉄道橋の主な被災

- 地震動による被災
 - 鉄筋コンクリート構造(柱、橋脚等)の損傷
ひび割れ、剥離、鉄筋露出等
 - 支承の損傷と桁移動
- 津波による被災

52

東日本大震災に機能した耐震対策と課題

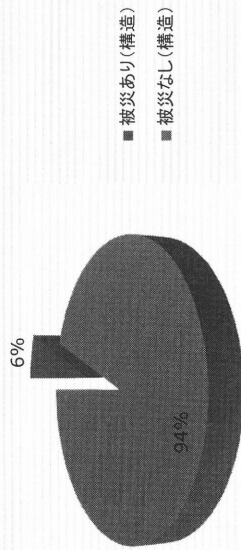


53

橋梁(道路・鉄道)の構造的な被災は少ない

1996(H8)以降の基準適用

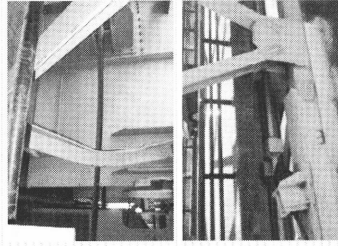
被災分析結果



■ 東北新幹線(1983年開業)と東北本線(2006年開業部)の被災結果を比較

53
国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所提供、JR東日本事業料を分析

地震時に機能した落橋防止システム

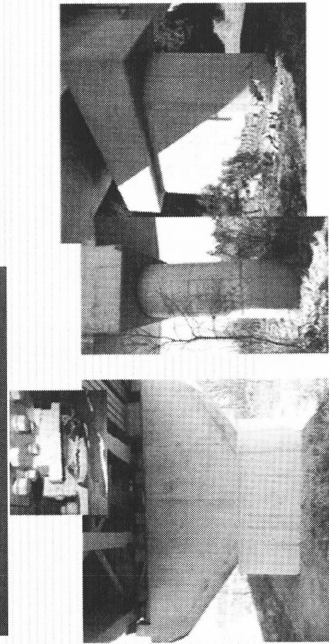


機能した落橋防止システム

- ・ 桁かかり長
- ・ 落橋防止構造
- ・ 変位制限構造
- ・ 段差防止構造

55

耐震補強の効果(道路橋)

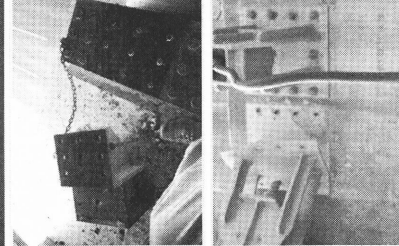


【耐震補強済み】

【耐震補強未対策】

54

課題を残した耐震関連装置等

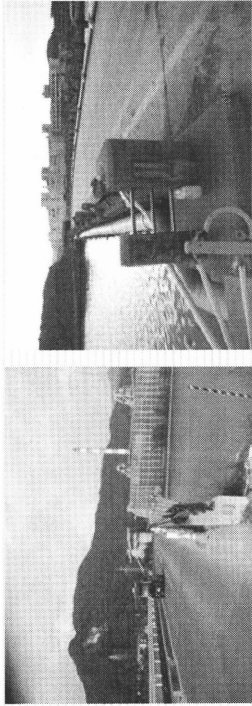


課題を残した耐震関連装置

- ・ ジョイントプロテクターの落下
- ・ 装置脱落防止チェーンの破断
- ・ 落橋防止装置取付け部の損傷

56

流失を免れた橋梁



57

東日本大震災による被災からの課題

- 異常時点検(緊急点検)の見直し
- 落橋防止システムの見直し
- ゴム支承の耐震性能向上

59

東日本大震災による被災からの課題

- 既設橋梁、高架構造の早期耐震対策実施
- 津波対策としての防災、減災
- 長周期地震動への対策
- 橋梁取付け部の耐震対策

58



東日本大震災鋼構造物の調査・検討結果緊急報告会

11.16.2011

ご清聴ありがとうございました



第21回鋼構造基礎講座

61