

3. コンクリート橋の補修・補強

3. 1 はじめに

近年、道路整備の拡充に伴い、交通量の増大や車両の大型化は、構造物本来の耐荷性能を著しく損なう要因のひとつである。このような状況において、平成6年には「道路橋示方書」の活荷重の改訂がなされ、従来の荷重条件以上の耐荷性能が要求され、損傷の補修とともに「道路橋示方書」(平成6年)の荷重条件に見合った補強が要求されている。

一般に、橋梁の耐用期間は、50年あるいは100年と言われているものの、図-3.1に示すように、21世紀初頭から、これまでに建設された橋梁が供用年数50年以上となり、21世紀半ばには、その数は膨大な量となる。¹⁾

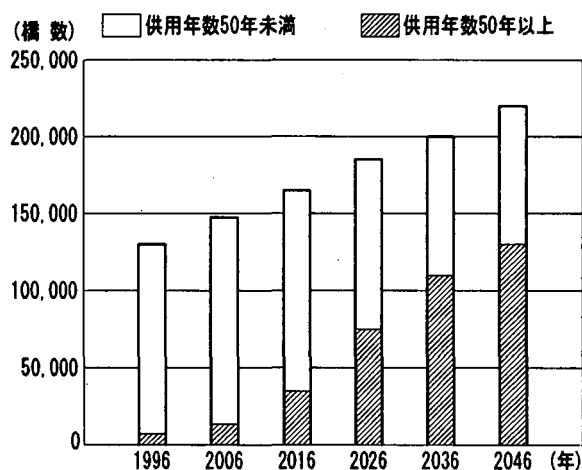


図-3.1 全橋梁数と老朽化橋梁数の予測

このことから、既存橋梁を適切に維持管理・補修補強することにより、耐用期間をより長く延長していくことは、重要な社会資本を効率良く使用するために最も必要とされる技術のひとつである。

一方、1996年9月パラオ共和国において、世界最大級のPC3径間有ヒンジラーメン橋(橋長385m, 中央支間241m)が落橋した。本橋は1977年に建設されたが、中央ヒンジ部のたわみが大きくなったため、ヒンジ部の連続化等の補強工事が行われ、1997年7月に完了したばかりであった。落橋の原因は現在調査中とのことであり、補強工事との因果関係は不明である。

しかしながら、この落橋事故による教訓として、補強工法の選定に際しては、補強工事により構造的な弱点が誘発されることがないように十分な注意が必要であることを改めて認識する機会であった。

本章では、コンクリート道路橋の上部工に着目して、その点検・調査方法および補修・補強工法につ

いて具体的に述べることにする。なお、鋼橋のRC床版は鋼橋の主要部材ではあるが、コンクリート特有の維持管理手法と類似する部分が多いことから、コンクリート橋分科会で担当し、本章において記述することとした。

3.1.1 コンクリート橋の現状

わが国においてコンクリートは、原材料の入手が容易で経済的な材料であることから、古くから多くの構造物に使用されている。また、コンクリートは最も耐久性に優れた材料のひとつであり、適切な設計・施工により、構造物としての機能を長年にわたり維持でき得る材料である。

しかし、近年塩害あるいはアルカリ骨材反応等によるコンクリート構造物の早期劣化が問題となり、コンクリート構造物の維持管理について各分野での研究が鋭意行われている状況である。

コンクリート橋で見受けられる損傷の要因は、不適切な材料・設計・施工あるいは想定以上の気象・環境・荷重条件等が考えられる。

また、鉄筋コンクリート橋、プレストレストコンクリート橋、鋼橋のRC床版などコンクリートを用いた部材の形式、部材の断面形状あるいは橋梁の部位により損傷の種類が異なり、構造的な要因により、コンクリート橋本来の耐久性、耐荷性が早期に損なわれることがある。

ここでは、コンクリート橋を維持管理するための点検・調査手法、あるいは構造系・部材系特有の損傷に着目して、床版橋・T桁橋・箱桁橋、地覆・高欄ゲルバー構造、ラーメン構造、鋼橋RC床版について、その損傷事例と要因およびその補修・補強工法について述べることにする。

3.1.2 補修・補強に関する用語の定義

コンクリート構造物の維持管理および補修・補強に関する用語の定義は、各機関により異なる場合もあるが土木学会の「コンクリート構造物の維持管理指針(案)」²⁾によれば以下のように示されている。維持管理----構造物に備わった初期の性能および機能を水準以上で保持していくための行為の総称。これを保全ともいう。

供用期間----構造物を供用する期間。

予定供用期間----構造物を供用したい期間あるいは年数。

耐用期間----構造物または部材が劣化することにより、その目的とする機能を十分に果たさなくなり、供用できなくなるまでの期間。

設計耐用期間----設計時において、構造物または部材が、その目的とする機能を十分果たさなければならぬと規定した期間。

残存設計耐用期間----点検時から、設計耐用期間に達するまでの残りの期間。

構造物（部材）の機能----目的または要求に応じて構造物（部材）が果たす役割。

構造物（部材）の性能----目的または要求に応じて構造物（部材）が発揮する能力。

耐久性----構造物の性能・機能の低下経時変化に抵抗する性能。

機能性----構造物（部材）の必要とされる機能に関する性能から耐荷性を除いたもの。

耐荷性----部材の耐荷力に基づいて評価される構造物の性能。構造物（部材）の機能に関する性能の一つである。

劣化度----構造物または部材の性能の低下の程度。

点検----構造物の現状を把握する行為の総称。

維持管理対策----劣化した構造物（または部材）を維持管理するために行う措置。無処置点検強化、補修、供用制限、補強、解体・撤去、修景、機能向上、機能性回復などがある。

補修----劣化した部材、構造物の今後の劣化進行を抑制し、耐久性の回復・向上と第三者影響度の低減を目的とした維持管理対策。なお、補修では、耐荷性の回復・向上は目的としていない。

補強----部材、構造物の耐荷力を当初設計された水準まで回復あるいはその水準以上に向上させることを目的とした維持管理対策。

機能性回復----構造物に必要とされる機能に関する性能で耐荷性以外のものを回復させるための維持管理対策。構造物に必要とされる機能の一つである耐荷性については、それを回復するための維持管理対策を別途補強という。

機能向上----構造物への要求機能の増大に対して、所定の要求機能まで達成させるための維持管理対策。

構造物の重要度----構造物の機能停止、低下または構造物の損傷が、社会的、経済的に与える影響の程度に応じて定められるランク。

耐用期間、供用期間などのイメージを図-3.2に示す。

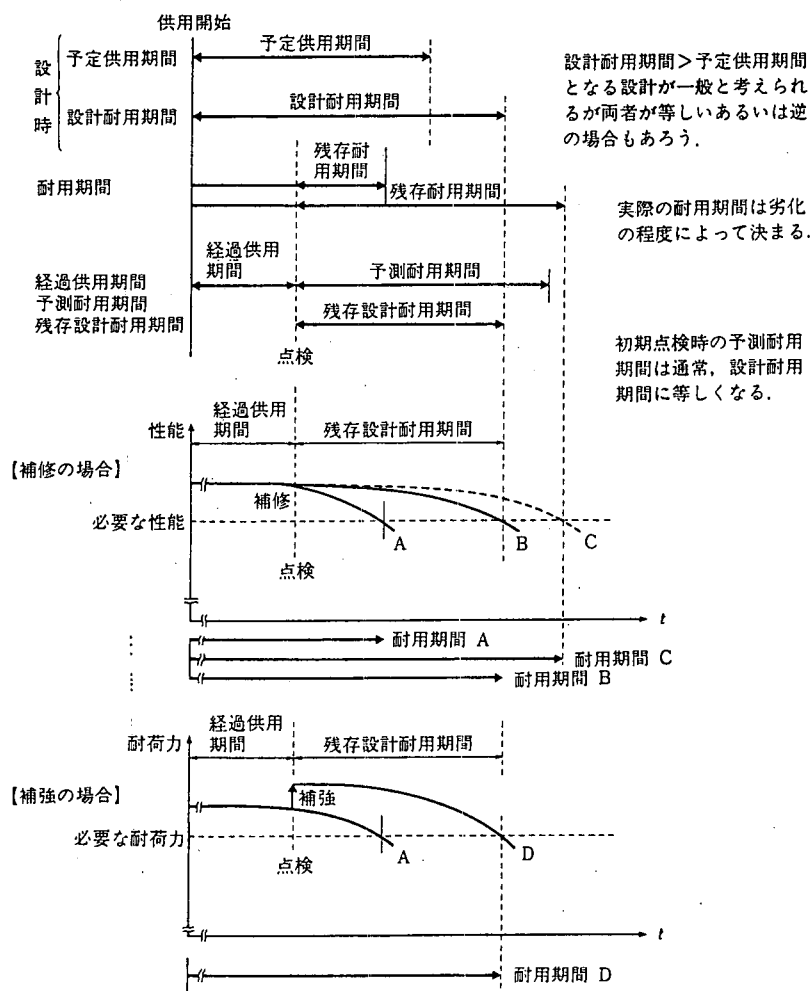


図-3.2 耐用期間および供用期間などのイメージ図²⁾

3. 2 点検・調査

適切に設計、施工されたコンクリート橋は、本来十分な耐荷力、耐久性を有するものである。しかし、交通荷重、環境等により、徐々に劣化および損傷が進行し、長年の間に耐荷力、耐久性が減少する。劣化、損傷は、コンクリート構造物の場合には、急激に起こるものではないが、確実に進行するものである。構造物の延命を図るためには、その状況に応じた適切な補修、補強を行うことが重要である。そのためには、日常より点検・調査を実施し、現況の把握に努めることが必要である。

点検とは、特別の計測機器を用いず、主として目視により橋梁の劣化の状態、損傷の有無、発生状況を調べ判定を行うものであり、調査は、点検結果により必要に応じて各種の検査、測定、試験等を実施し、構造物の状況を詳細に把握することと位置付けられる。いずれも点検・調査の結果は、劣化、損傷の原因ならびに対策を検討、決定するための貴重な資料となるものである。

橋梁における点検・調査の流れは、図-3.3 のようになる。

3.2.1 損傷の要因と種類

コンクリート橋の健全度の評価は、主として損傷の有無および程度により行われるのが一般的である。コンクリートの劣化もそれが進行すれば損傷として

現れる。この損傷を引き起こす要因を大きく分類すると次の事項が考えられる。

- ① 重交通荷重
- ② 環境および気象
- ③ 材料
- ④ 構造設計および施工

①の重交通荷重は、設計で想定する以上の車両の通行および交通量の増大による繰り返し荷重等である。②の環境および気象と③の材料は、主として劣化をもたらす要因で、炭酸ガス、酸類、塩分、凍結、水、反応性骨材、コンクリートの配合等である。④の構造設計および施工は、構造的弱点、配力鉄筋量の不足等、設計当時に評価が困難であったもの、かぶり不足、打ち継ぎ目処理、グラウト不足、豆板等の施工上の欠陥である。

これらの要因により、コンクリートの損傷が進行し、様々な損傷の種類、形態が表面化ようになる。要因はそれぞれが単独に作用することではなく、複合して作用することが非常に多い。要因と損傷の種類の関係を示すと、概ね図-3.4 のようになる。点検・調査の実施にあたっては、要因と、現象として現れる損傷の種類を理解した上で行うことが望まれる。

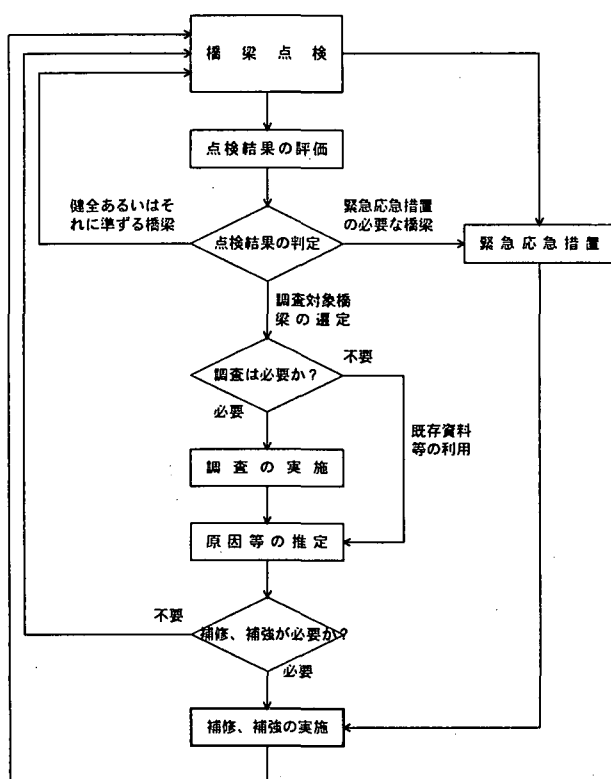


図-3.3 橋梁の点検・調査の流れ⁸⁾

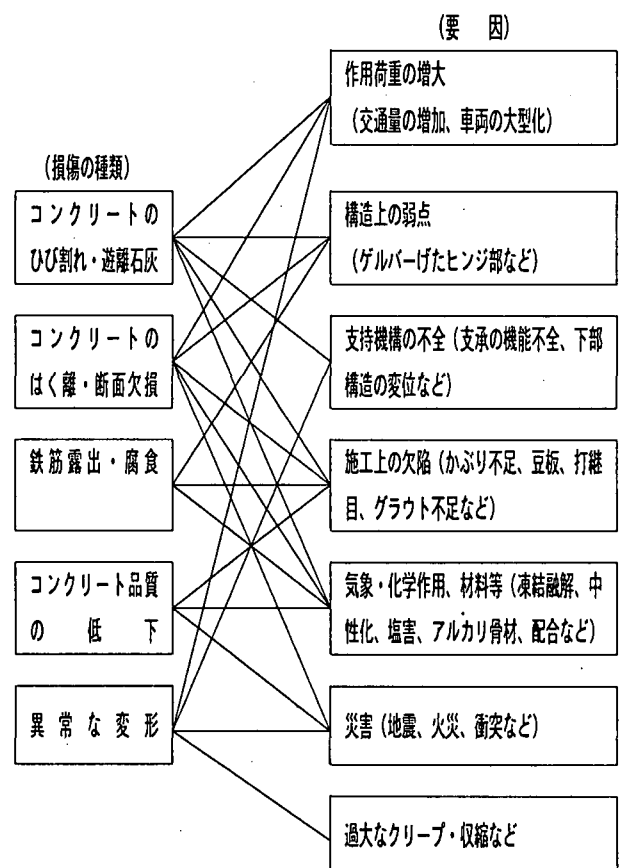


図-3.4 コンクリート橋の損傷の種類と要因

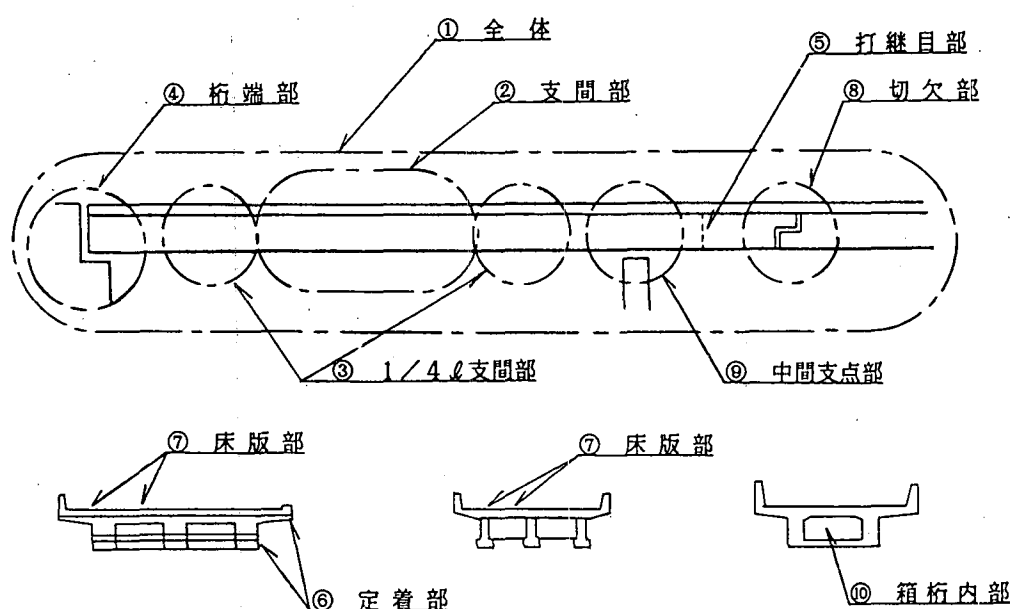
3.2.2 点検

点検は橋梁の変状、損傷を発見し、各々の構造物が健全かどうか、さらに調査が必要かどうか、緊急応急措置が必要か否かの判定を行うことである。橋梁を管理する各機関では、日常の点検と定期的な点検とを実施しており、日常点検は毎日あるいは週に一度程度の頻度で、主に路上からの目視による方法、定期的には、1年あるいは数年に一度の頻度で、できるだけ構造物に接近し、必要な場合には簡単な機器を使用して行うこととしている。各機関の点検要領の概要を表-3.1に示す。

点検ならびに判定には高度な技術力が要求される

ため、とくに定期的な点検においては、できるだけ同一の、かつ高度な技術的知見を有する専門技術者が実施するのが望ましい。また、損傷の進行度を知ることが、判定のために非常に重要であり、そのためには、日常的な点検データの蓄積も大切である。

点検の実施にあたっては、効率的かつ的確に行うことが必要である。点検する場合の着目位置を示すと、図-3.5のようになる。この着目位置に損傷や変状が認められた場合は、それに関連した他の箇所にも損傷等の発生が考えられるので十分な注意を要する。



着目位置	内 容
① 全 体	橋梁全体の挙動（異常たわみ・振動音・下部工沈下、傾斜など）について調べる。
② 支 間 部	支間部の橋梁側面、下面の損傷について調べる。
③ 1/4ℓ部	支間1/4ℓの曲げモーメント変曲部付近の橋梁側面、下面の損傷について調べる。
④ 桁 端 部	桁端部の漏水やジョイント取付部、支承拘束による損傷について調べる。
⑤ 打 継 目 部	現場コンクリートの打継目にみられる損傷について調べる。
⑥ 定 着 部	横桁や横締めPCなどの取付部に生じる損傷について調べる。
⑦ 床 版 部	床版部継目やハンチ部などに生じる損傷について調べる。
⑧ 切 欠 部	桁端切欠部やゲルバーヒンジ部などに生じる損傷について調べる。
⑨ 中間支点部	連続橋の中間支点部付近に生じる損傷について調べる。
⑩ 箱 桁 内 部	箱桁内部の損傷について調べる。RCホロースラブのボイドにも注意する。
⑪ 補 強 部	鋼板接着やアウトケーブルによる補強部について調べる。
⑫ そ の 他	排水部周辺、標識、照明取付部など。

図-3.5 点検着目位置⁸⁾

表-3.1(1) 各機関における点検要領の概要(1)

項	目	建	設	省	日	本	道	路	公	団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	東京都建設局
準拠した点検要領・点検基準		「橋梁点検要領(案)」 (昭和63年7月/土木研究所)			「維持修繕要領」(昭和63年5月) 「点検の手引」(昭和60年3月)					「土木構造物点検要領」 (昭和57年3月)	「道路構造物の点検基準(土木構造物編)」 (平成4年4月)	「橋梁の点検要領」 (昭和63年3月)	
(1) 点検の目的	①安全かつ円滑な交通を確保すること ②合理的な橋梁の維持管理資料を得ること	①安全かつ円滑な交通を確保すること ②合理的な橋梁の維持管理資料を得ること			①道路を常時良好な状態に維持すること ②一般交通および第三者に支障を及ぼさないこと ③維持・修繕のための資料を得ること	①常に構造物を良好な状態に保つこと ②損傷の拡大および二次的な損傷を防ぐこと ③交通の安全、円滑な通行、第三者への障害を除去すること				①日常点検 目的：損傷の早期発見 方法：車上からの目視 頻度：1回/日 点検者：2人1組 ②定期点検A、B 目的：構造物の保全 方法：目視および簡易な点検機材による 頻度：1回/1～3年 点検者：点検委託会社 ③臨時点検 目的：日常点検または定期点検の補充 方法：定期点検に準じて行う 頻度：必要に応じて行う 点検者：とくに規定なし ④追跡点検 目的：損傷の進行状況の把握 方法：目視および簡易な点検機材による 頻度：継続的に 点検者：点検専門業者が実施 (続く)	①常に道路構造物を良好な状態に保全すること ②安全かつ円滑な交通を確保すること ③第三者への障害を防止すること	①異常・損傷の早期発見と処置 ②損傷要因の除去と予防による良好な状態の確保 ③交通の安全および円滑性の確保 ④第三者への障害防止 ⑤橋梁の不正使用、不法占拠等の調査、指導取締	
(2) 点検の種類と方法など	①通常点検 目的：損傷の早期発見 方法：車上からの目視 頻度：日常巡回時に行う 点検者：建設省自身が実施 ②定期点検 目的：橋梁の保全 方法：目視および簡易な点検機材による 頻度：定期的に行う 点検者：点検専門業者が実施 ③異常時点検 目的：災害発生前後の安全性の確認 方法：とくに規定なし 頻度： 点検者： ④追跡点検 目的：損傷の進行状況の把握 方法：目視および簡易な点検機材による 頻度：継続的に 点検者：点検専門業者が実施 (続く)	①通常点検 目的：損傷の早期発見 方法：車上からの目視 頻度：1回/日 点検者：2人1組 ②定期点検A、B 目的：構造物の保全 方法：目視および簡易な点検機材による 頻度：1回/1～3年 点検者：点検委託会社 ③臨時点検 目的：日常点検または定期点検の補充 方法：定期点検に準じて行う 頻度：必要に応じて行う 点検者：とくに規定なし ④追跡点検 目的：損傷の進行状況の把握 方法：目視および簡易な点検機材による 頻度：継続的に 点検者：点検専門業者が実施 (続く)	①日常点検 目的：損傷の早期発見 方法：車上目視と車上感覚を主体とし、必要に応じて目視点検 頻度：道路上：全線1回/日 高架下：全線1回/週 点検者：点検請負者 ②定期点検 目的：損傷の早期発見 方法：路上、高架下、足場からの写真撮影、接近目視および点検器具による 頻度：定期的に行う 点検者：点検請負者 ③臨時点検 目的：予期し得ない損傷への対処 方法：定期点検を参考に行う 頻度：とくに規定なし 点検者：地震および暴風雨等の点検は別途定める	①日常点検 目的：損傷の早期発見 方法：目視、車上感覚を主体とし、必要に応じて目視点検など簡単な計画で行う 頻度：日常的に規定された頻度で行う 点検者：とくに規定なし ②定期点検 目的：構造物の保全 方法：路上、目視・たまたまなど簡単な計画を行う 頻度：定期的に行う 点検者：とくに規定なし ③臨時点検 目的：損傷の詳細な点検 方法：事故、防災時など異常事態への対処 頻度：各道路構造物ごとに定められている定期点検を参考に、項目、方法、基準を適宜決める 点検者：異常事態や重大な損傷が生じた場合、また予測される場合 その他：臨時点検には調査、追跡点検及び詳細点検を含む	①日常点検(通常巡回) 目的：損傷の早期発見 方法：巡回車上からの目視または車上感覚による 頻度：日常巡回時 対象：路面上構造物全て 点検者：とくに規定なし ②日常点検(定期巡回) 目的：損傷の早期発見 方法：徒歩または船による 頻度：1回/3ヶ月 対象：上部工、床版、下部工 点検者：とくに規定なし ③定期点検 目的：橋梁の保全 方法：主に目視及び簡易な点検機器・器具による 頻度：1回/5年 点検者：とくに規定なし ④異常時点検 目的：災害時の事前・事後に特定のものあるいは通報や日常点検において危険であると考えられたものを対象として行い、橋梁の安全性を確認し、必要な処置を行う 方法：日常点検と同様 頻度：必要に応じて 点検者：とくに規定なし (続く)								

表-3.1(2) 各機関における点検要領の概要(2)⁴⁾

項 目	建 設 省	日 本 道 路 公 団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	東 京 都 建 設 局
(2) 点検の種別と方法など (続き)	⑤詳細調査 目的：補修・補強の必要性を判断する 方法：主に点検機材による 頻度：とくに規定なし 点検者：点検専門業者が実施				⑤詳細調査 目的：補修・補強の必要性を判断する 方法：主に点検機材による 頻度：とくに規定なし 点検者：とくに規定なし
(3) 点検の実施 体制と運用		道路公団の各管理事務所が、道路パトロールの一環として行っている 点検は原則として車上より2人1組で目視により行う	実施体制についてとくに規定なし 専門業者へ委託している模様	実施体制についてとくに記載なし 専門業者へ委託している模様 点検員(大卒5年、短大卒7年、高卒10年以上の経験者)	⑥動態観測 目的：損傷の進行状況の把握 方法：目視及び簡単な点検機器・器具により継続的に調査する 頻度：継続的に行う 点検者：とくに規定なし
	通常点検 日常点検	道路巡回業務の一環として建設省内部で実施 国道維持出張所の管轄 主にパトロール車からの目視点検	点検に従事する要員数、役割、資格等について、特に規定はない	点検員(大卒5年、短大卒7年、高卒10年以上の経験者)	徒歩点検、工事用足場： 点検員1名、補助点検員2名 ボート点検： 点検員1名、補助点検員3名 点検車： 点検員1名、補助点検員3名、保安要員2名 点検員(大卒5年、短大卒8年、高卒11年以上の経験者) 点検補助員、保安要員(とくに規定なし)
	定期点検	点検員1名(大卒5年、短大・高卒8年、高卒11年以上の経験者) 点検補助員2名(とくに規定なし) の上記計3名による 橋梁点検車等を使用する場合は、別途人員が必要 (財)道路保全技術センター委託され、有識業者により点検される	とくに規定されておらず、定期点検に準じて行う	点検員(大卒5年、短大7年、高卒10年以上の経験者) ただし、内容により別途定める	
	臨時点検		とくに規定されておらず、定期点検に準じて行う		

表-3.1(3) 各機関における点検要領の概要 (3)

項	目	建設省		日本道路公団		首都高速道路公団		阪神高速道路公団		東京都建設局	
		5段階		4段階		5 (3) 段階		5 (4) 段階		5 (3) 段階	
(4) 損傷度判定	判定基準 とその内容	区分	内 容	区分	内 容	区分	内 容	区分	内 容	区分	内 容
		I	損傷が著しく、交通の安全確保または第三者に対し支障となる恐れがある場合	II	損傷が著しく、交通への支障および第三者への影響が大であり、緊急補修の必要がある場合	III	損傷が著しく、交通への支障および第三者への影響が大であり、緊急補修の必要がある場合	IV	損傷が著しく、道路構造物の機能低下を招き、安全かつ円滑な交通の確保に障害をきたす恐れ、または第三者への影響が大であると考えられ、緊急補修の必要がある場合	IV	損傷が認められ、第三者に影響を及ぼす恐れがあるか、橋の耐力に影響を及ぼすと考えられるもので、交通規制や補修等緊急な対応が必要
		II	損傷が大きく、詳細調査を実施し、補修するかどうかの検討を行う必要がある	III	損傷が著しく、補修する必要があるが緊急補修を要しない場合 構造物の耐力アップを行う必要および走行性や美観の回復を行う必要のある場合	IV	損傷が著しく、補修する必要がある場合	V	損傷が著しく、補修する必要がある場合	V	損傷が認められ、橋の耐力に影響を及ぼす恐れがあるか、橋の耐力に影響を及ぼすと考えられるもので、原因を推定する必要がある場合は詳細調査を実施し、その必要のないものは補修を行う
		III	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある	IV	損傷が大きく、補修するかどうかの検討が必要な場合	V	損傷があり、その程度を記録する必要がある場合	VI	損傷があり、必要に応じて補修する場合	VI	損傷はあるもののすぐには第三者に影響を及ぼしたり、橋の耐力にさほど影響を及ぼすことはないと考えられるもので、進行性の損傷については、動態観測を行う
		IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある	VI	損傷は小さいが、補修するかどうかの検討が必要な場合	VII	損傷がないか、損傷が軽微でその程度を記録する必要のない場合	VIII	損傷が軽微である場合 ※定期点検のみ	VII	損傷はあるもののその程度は小さく、第三者に影響を及ぼしたり、橋の耐力に影響を及ぼさないと考えられるもの
		OK	点検の結果から、損傷は認められない	OK	損傷がないか、あっても警備で補修する必要がある場合	Q	損傷はあるものの、その程度が明確に判定できない場合または、通常と異なる異常な損傷があり、別の方法で再点検する必要がある場合	OK	日常点検は④、A、B以外 定期点検は④、A、B、C以外	OK	損傷が認められない

3.2.3 調査

調査は、損傷状況、程度を詳細に把握するための調査と、種々の要因によって生じた損傷の原因を判定するための調査に分けられる。点検結果により調査を実施する必要がある橋梁を選定し、その損傷状況により適切な調査項目、調査方法を選ぶことが大切である。損傷の種類および要因に対する調査項目をそれぞれ表-3.2、表-3.3に示す。

また、コンクリートの劣化機構を特定した上での

調査方法およびその概要は、「コンクリート構造物の維持管理指針（案）」（土木学会）によると表-3.4、表-3.5のようになる。表中、点検とあるのは、ここで言う調査を含めたものである。調査の方法によっては既設橋梁に有害な欠陥を与える場合もあるため、調査方法を選定するには十分な配慮が必要である。

なお、詳細調査については、次節で構造物に即した具体例を示している。

表-3.2 損傷の種類と調査項目³⁾

調査項目 損傷の種類	ひび割れ 調 査	遊離石灰 調 査	さび汁 調 査	剥離浮き 調 査	圧縮強度 調 査	pH調査	鉄筋グラウト調査
橋軸直角方向もしくは鉛直方向ひび割れ	○				△		
斜方向ひび割れ	○				△		
橋軸方向もしくは水平方向ひび割れ	○				△		△
亀甲状もしくは方向性のないひび割れ	○					○	○
遊離石灰	○	○					△
さび汁・鉄筋腐食	○		○			△	○
剥離・浮き	○			○		△	○

○：必ず実施する調査項目
△：必要に応じて実施する調査項目

表-3.3 損傷要因と調査項目³⁾

要 因	調 査 項 目
環境・材料関係 ・品質 ・中性化 ・塩害 ・アルカリ骨材反応 ・凍害	・コンクリート強度調査 ・コンクリートpH調査 ・塩分量調査 ・アルカリ骨材反応調査 ・コンクリート配合調査 ・凍結融解調査 ・鉄筋、PC鋼材位置調査 ・鉄筋、PC鋼材腐食調査 ・グラウト調査
荷重関係 ・作用荷重の増大（交通量の増加、車両大型化など） ・外的作用力（地震、衝突、火災など）	・部材寸法調査 ・載荷試験 ひずみ調査 変位調査 振動調査 ・活荷重調査
構造関係 ・構造 ・設計 ・施工	・部材寸法調査 ・載荷試験 ひずみ調査 変位調査 振動調査 ・コンクリート強度調査 ・鉄筋、PC鋼材位置調査 ・グラウト調査

表-3.4 劣化機構が特定される場合の点検・調査方法の選択基準²⁾

点 検 方 法	原 理 試験項目など	劣 化 機 構					
		塩 害	*2 中性化	凍 害	アルカリ 骨材 反応	化学的 コンクリート 腐食	疲 労
電気化学的方法	自然電位法 分極抵抗法	● ○	● ○			○ ○	
応 力 測 定 法	載荷時のひずみ測定	○			○	○	○
変 形 測 定 法	載荷時の変形測定	○			○	○	●
目視、写真撮影	双眼鏡、カメラ、変形 ^{*1}	●	●	●	●	●	●
打 音 法	打撃音、波形解析	●	●	●	●	●	○
反 発 硬 度 法	ハンマー反発硬度	●	●	●	○	●	○
赤 外 線 法	表面の赤外線映像	○	○			○	○
中性化測定法	フェノールフタレイン P H	● ○	● ○	○	○	○ ○	
コ ア 採 取	外観検査			●	●	●	
	圧縮強度	○	○	○	○	●	○
	配合分析	○	○	○	○	○	○
	塩化物含有量	●		○		○	
	アルカリ量分析				●		
	骨材の反応性				●		
	膨張量測定				●		
	細孔径分布			●		○	
透気（水）試験			○				
組 成 分 析	化学分析		○			●	
	DTA（示差熱）		○			●	
	XRD（X線回折）		○		○	●	
	EPMA SEM	○	○			○ ○	
局 部 破 壊 法	圧縮強度 錆等の目視	○ ●	○ ●	○ ○	○ ○	○ ●	○ ○
超 音 波 法	伝播時間、波形解析	●	○	●	●	●	○
衝撃弾性波法	伝播時間、波形解析			○	○	○	
マイクロ波法 （電磁波法） （レーダー法）	鉄筋配置 空 洞 部 材 厚	○ ○ ○	○ ○ ○			○ ○ ○	○ ○ ○
電 磁 誘 導 法 （渦 流 法）	鉄筋配置	●	●			○	○
放 射 線 法	透過放射線画像	○	○			○	
A E 法	イベント数、波形解析						○
振 動 計 測 法	固有振動数、振動モード	○			○		

モニタリング	日常 点検	定期点検

凡 例

●：有効である

○：参考となる有効なデータが得られる

無印：参考になることもある

注) *1：変形、変色、スケーリング、ひび割れの点検をも含む

*2：中性化とは、コンクリートの中性化による鉄筋腐食を指す。

表-3.5(1) コンクリート構造物の点検・調査方法の概要 (その1) ²⁾

点検方法	原理および試験装置	点 検 対 象	精度あるいは精度に及ばず影響	備 考
目 視	双眼鏡、望遠鏡、ビデオ	表面ひび割れ、はく離、はく落、遊離石灰の溶出、漏水、錆の滲出による変色	目視は点検者の熟練度、写真、双眼鏡、ビデオなどは使用機器の性能	ひび割れ進展状況および変色状態の経時変化などの記録 写真の画像解析を併用して、磁気記録する手法を開発中
写 真 撮 影	普通カメラ、スチルカメラ、CCDカメラ			
打 音 法	ハンマーなどの打撃音あるいは打撃音の解析	表面近傍のジャンカ、空洞、鋼材腐食による表面の浮き、タイル仕上げ、モルタル塗り仕上げのはく離	打撃音による評価は点検者の熟練度、打撃力の基準化	健全部との相对比较最大振幅、周波数パターンによる判定
反 発 硬 度 法	スプリングあるいは振り子式ハンマーの反発硬度	表面部の均一性、摩耗特性の評価、面脱型時期の決定、圧縮強度	測定表面の凹凸、乾燥条件、部材厚さ、コンクリート材齢などが影響	器差のためハンマーごとに反発硬度が異なる場合がある。反発硬度と強度に理論的關係はない。推定強度は強度推定式のコンクリート強度に対応する。コンクリート材齢も影響する。コア強度による使用推定式の確認あるいは修正が必要。
超 音 波 法	超音波パルス（縦波、横波）の伝播時間、速度および波形解析	構造物、部材の均質性、締固め不良部などの内部欠陥、品質の経時変化、内部空隙、表面ひび割れ深さ	測定装置の仕様は多様で、装置による速度差、伝播経路や乾湿による差	試験法に関する規格類が制定されていない。速度は配合の変化に鈍感、品質の相対変化による評価に威力。斜めひび割れの測定は不可能。
衝撃弾性波法	衝撃波（縦波）の伝播速度および波形解析	厚さ、内部欠陥、構造物の根入れ深さ	打撃方法、コンクリートの大きさ、打撃点から第一振動子までの距離	振幅が大きく、波長も長い場合、マスコンクリートに適する。空洞、埋設物などの位置特定は困難。
赤 外 線 法	表面近傍の比熱、熱伝導率の局所的変化による温度分布および変化の赤外線映像 観察波長：3~5, 8~13 μm	表面はく離 表面近傍の締固め不良部 漏水	温度測定精度は通常 1/10°C 周辺環境の温度変化 温度平衡による欠陥部検出の不能状態 欠陥部と健全部との温度逆転現象	非接触のパターン計測。一度に広い範囲の計測可能。撮影時間、気象条件、環境温度などの影響の検討が必要。温度変化へのコンクリート品質の影響の検討。
マイクロ波法 (電磁波法) (レーダー法)	マイクロ波（波長 1 m~1 mm 程度）が電氣的特性（誘導率 ε、透磁率 μ、導電率 σ）の異なる物質の境界面で反射する性質	内部欠陥（ジャンカ、空洞） 覆工コンクリートの巻厚 覆工コンクリートと地山間の空洞の有無と大きさ 鋼材位置など	市販装置の最大探査深さ 20 cm 程度 覆工厚探査は最大 40~50 cm 程度 鉄筋内側の空隙探査は困難	誘導率、導電率がコンクリートの組成、骨材の量と種類、含水量、塩化物イオン量および温度などで変化する。探査深さが 30 cm を越える場合は既知厚さ部での較正が有効である。
電磁誘導法 (渦流法) (渦電流法)	交流磁場中の磁性体（鋼材）による電磁現象 振動方式：誘起電圧 ベクトル方式：誘起電圧と位相	配筋状態、かぶり、鉄筋径	鉄筋の磁気特性、使用プローブおよび周波数など 市販の装置での最大探査深さ約 10~15 cm	振動方式は鉄筋径、かぶりの一方が判明していれば有効。 ベクトル方式：かぶり-振動曲線、鉄筋径-位相曲線（検出線）
放射線法	透過放射線画像 300 kV 線形型 X 線装置 60 Co (20 Ci 程度) 192 Ir (50 Ci 程度)	版厚、配筋状態、鉄筋径、かぶり 空洞、豆板の状態 PC グラウトの充填状況 埋設物の位置、寸法など	鉄筋 (φ9) の識別可能最大厚さ 工業用フィルム撮影方式 X 線 (絶大電圧 300 kV) 40 cm γ 線 (60 Co, 16 Ci·h) 50 cm 程度 IP 画像処理 X 線：50 cm 程度、γ 線：60 cm 程度	検査可能なコンクリート厚さは、放射線のエネルギー、露出時間、放射線源と感光材までの距離、感光材の種類、散乱防止グリッドなどによって異なる。安全管理が大切。各種規制および資格に関する法令に従う必要あり。

表-3.5(2) コンクリート構造物の点検・調査方法の概要（その2）²⁾

点検方法	原理および試験装置	点 検 対 象	精度あるいは粗度に及ぼす影響	備 考
A E 法	微小破壊により発生する弾性波	ひび割れ発生時のモニター コア試験による劣化度 戦荷履歴の推定	ノイズの大きさ センサーの感度および共振周波数	現場計測はさらに研究が必要な面がある
電気化学的方法	自然電位法	鋼材の腐食状況	コンクリートの含水量、環境温度 電位は参照電極によって異なる 電位分布による評価が必要	照合電極：飽和硫酸銅電極 (Cu/CuSO ₄)、 飽和塩化銀電極 (Ag/AgCl)、 飽和カロメル電極 (SCE) など 自然電位は腐食の可能性の指標 ASTM C 876
	分極抵抗法	鋼材の腐食速度	計測時間、鋼材位置、表面水分量	また研究段階にある手法が多い 交流法、交流インピーダンス法、矩形波電 流分極法
コア採取 JIS A 1107	外観検査	締固め、分離の状態、ひび割れ 状態、中性化深さ		鉄筋切断の場合、鉄筋の径、種類、位置、 錆の状態などの検査 中性化深さはフェノールフタレイン1%ア ルコール溶液使用
	物理試験	圧縮強度、単位体積重量、透水性、 吸水性	コア採取形状	
	配合分析	単位セメント量、骨材の単位量、 水セメント比など	骨材の品質、セメント化学組成、空 気量	硬化コンクリートの配合推定に関する共同 試験報告（セメント協会コンクリート専門 委員会報告）など
	塩化物イオン含有量	塩化物イオンの定量分析		硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析 方法 (JCI-SC4) など
	骨材の反応性	コア表面の反応リング、ゲルの確認 骨材の有害性 コンクリートの膨張量 ゲルの観察 ゲルの成分分析 反応リング部の成分分析		JIS A 5308 付属書 7（化学法） JIS A 5308 付属書 8（モルタルバー法） 走査型電子顕微鏡 X線マイクロアナライザー
	引抜き法 ブルーフ法 貫入抵抗法 フレイクオフ法	埋込み金具の引抜き 特殊治具、接着金具の引張 バネまたは火薬によるピンへの貫入深さ コンクリートコアの曲げ破壊荷重	95%信頼限界±20% 95%信頼限界±25% 95%信頼限界±20% 95%信頼限界±20%	プレセット型およびポストセット型、ASTM C 900
応力測定法	通常の荷重あるいは試験荷重 荷時のひずみ測定	増加荷重による応力		死荷重による応力は、鋼材切断による応力 解放などの特殊方法が必要
たわみ測定法	通常の荷重あるいは試験荷重 荷時のたわみ測定	部材の剛性、荷重分担、弾性係 数などの変化		部材寸法による計算たわみ量と実測値の比 較
振動計測法	固有振動数、振動モード	弾性挙動、相対的均質性		健全時あるいは同一形式部材との相対比較

3. 3 補修・補強工法

ここでは、コンクリート橋特有の損傷とその補修・補強対策を、一般的なコンクリートの変状、さらに、橋梁形式、構造形式、部材形式などの特性に着目して述べる。

3.3.1 一般

(1) コンクリート橋の変状

コンクリート橋の劣化損傷は、一般になんらかの変状として現れる。変状は美観あるいは安心感からは必ずしも喜ばれるものではないが、劣化や損傷が変状として明確に現れることは、コンクリート橋の決定的な崩壊のはるか以前の段階での警告であり、コンクリート橋の大きな利点である。逆に、大きな損傷の前の段階で、なんらの予兆も示さないような構造形式はきわめて危険であると言える。

コンクリート橋の変状としては、ひび割れあるいは変形として現れる場合が多く、変状全般については図-3.6 に示すように、漏水、つらら、表面荒れ、汚れ、剥離、白華、すりへり、粉状化などがある。また、ひび割れ発生の原因は表-3.6 のようなもの

が知られている。このように、同一の変状に対して、さまざまな原因が想定され得ることが認められる。

これらの損傷の一つについて一つの原因が対応することは希であり、いくつかの原因が競合している場合がほとんどである。また、一つの原因が誘発して、他の原因でその損傷が助長される場合もある。

(2) 変状の評価と判定

変状の原因には種々のものがあるが、対応するメカニズムそのものについてはそれほど数は多くない。補修・補強にあたっては、これらの劣化メカニズムに対応した方法を探ることがもっとも重要である。適切に対応した方法をとらずに、再変状を生じた場合には、補修・補強が以前にもまして、困難になることはよく知られているところである。

適切な補修・補強方法を選択するためには、劣化メカニズムに対応した評価、判定を行う必要がある。すなわち、変状を生じた劣化メカニズムを明らかにした上で、劣化程度、将来の進行を予測し、総合的に判定しなければならない。とくに、補修・補強にあたっての評価・判定については、純粋工学とは言えない部分も多い。例えば、設計寿命をどのように

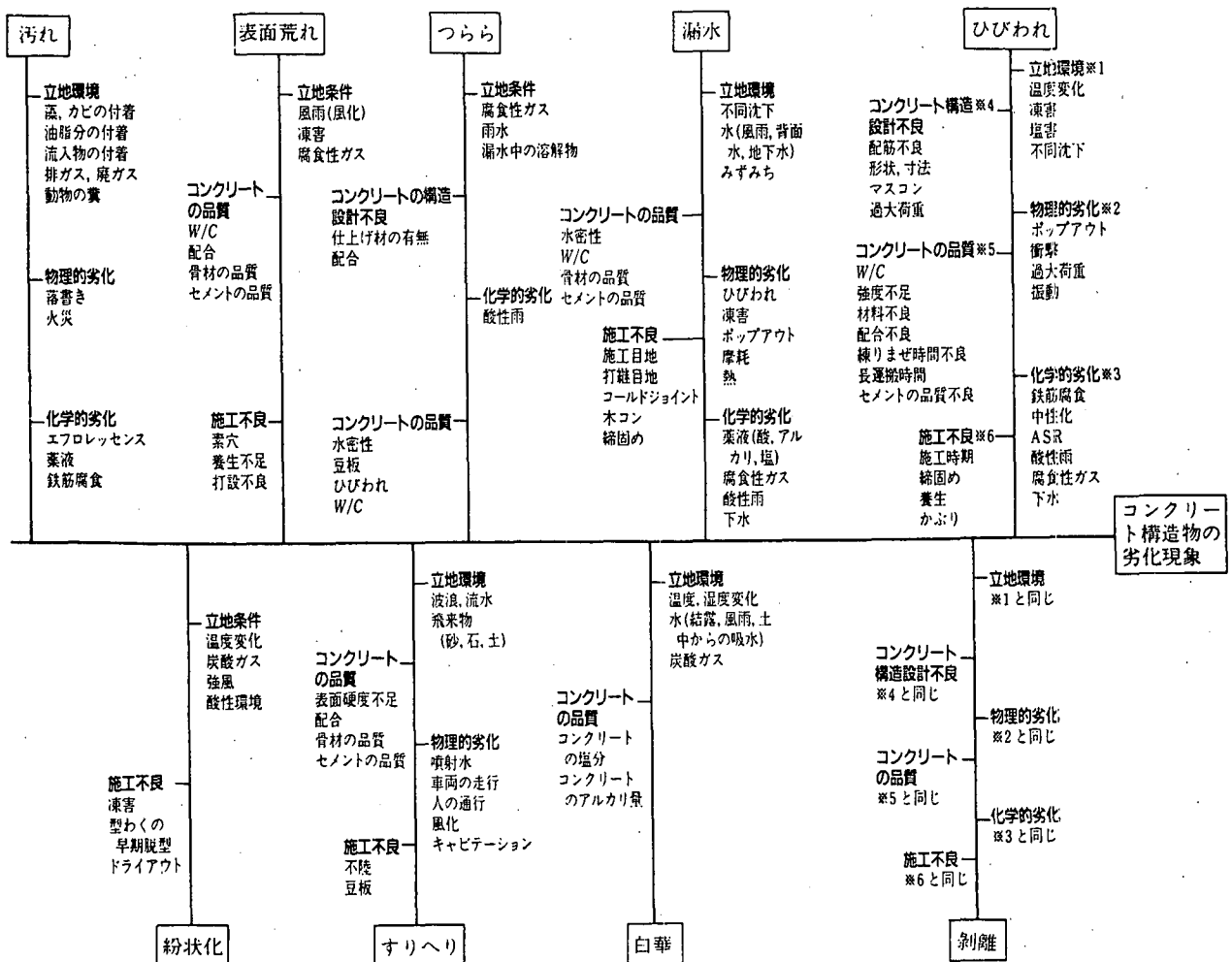


図-3.6 コンクリート構造物の変状と劣化要因¹⁾

表-3.6 ひび割れ発生の原因¹⁾

大分類	中分類	小分類	番号	原因
A 材 料	使用材料	セメント	A 1	セメントの異常凝結
			2	セメントの水和熱
			3	セメントの異常膨張
		骨材	4	骨材に含まれている泥分
			5	低品質な骨材
			6	反応性骨材
	コンクリート		7	コンクリート中の塩化物
		8	コンクリートの沈下・ブリージング	
		9	コンクリートの乾燥収縮	
B 施 工	コンクリート	練りませ ぜ 運搬 打込み 締固め 養生 打継ぎ	B 1	混和材料の不均一な分散
			2	長時間の練りませ
			3	ポンプ圧送時の配合の変更
			4	不適当な打込み順序
			5	急速な打込み
			6	不十分な締固め
			7	硬化前の振動や載荷
			8	初期養生中の急激な乾燥
			9	初期凍害
			10	不適当な打継ぎ処理
	鉄筋	配筋	11	配筋の乱れ
			12	かぶり厚さの不足
	型わく	型わく 支保工	13	型わくのはらみ
			14	漏水(型わくからの、路盤への)
			15	型わくの早期除去
			16	支保工の沈下
C 使用・環境	物理的	温度・湿度	C 1	環境温度・湿度の変化
			2	部材両面の温度・湿度の差
			3	凍結融解の繰返し
			4	火災
			5	表面加熱
	化学的	化学作用	6	酸・塩類の化学作用
			7	中性化による内部鉄筋の錆
			8	浸入塩化物による内部鉄筋の錆
D 構造・外力	荷重	永久荷重・長期荷重 動的荷重・短期荷重	D 1	設計荷重以内の永久荷重
			2	・長期荷重
			3	設計荷重を超える永久荷重
			4	・長期荷重
	構造設計		5	設計荷重以内の動的荷重
			6	・短期荷重
支持条件		7	設計荷重を超える動的荷重	
		8	・短期荷重	
E その他				その他

設定するかという問題一つをとってみても、土木構造物には寿命という術語はなじまないとする意見も多く、技術者のみでの判断が現在きわめて困難である。このため、現在の段階では、補修・補強設計とは、主として、工法の選択にあたってのメニューの提示となっている。この場合、もっとも必要とされることは、劣化をそれ以上進行させないために、劣化メカニズムに対応させた工法を選択することである。

(3) 主な劣化現象とその補修対策

ここでは、コンクリート構造の損傷や劣化現象のうち、①ひび割れ、②塩害、③中性化、④アルカリ骨材反応について、そのメカニズムもしくは対策の

表-3.7 補修の要否に関するひび割れ幅の限度⁵⁾

区分 その他の要因¹⁾		補修と必要とする			補修を必要としない		
		ひび割れ幅 (mm)			ひび割れ幅 (mm)		
環境 ²⁾		大	中	小	大	中	小
耐久性から 見た場合	きびしい	0.4 ㈬	0.4 ㈬	0.6 ㈬	0.1 㬘	0.1 㬘	0.2 㬘
	中 間	0.4 ㈬	0.6 ㈬	0.8 ㈬	0.2 㬘	0.2 㬘	0.3 㬘
	ゆるやか	0.6 ㈬	0.8 ㈬	1.0 ㈬	0.2 㬘	0.3 㬘	0.3 㬘
防水性から みた場合	—	0.2 ㈬	0.2 ㈬	0.2 ㈬	0.05㬘	0.05㬘	0.05㬘

(注) 1) その他の要因(大、中、小)とは、コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害性の程度を示し、下記の要因の影響を総合判断して定める。

ひび割れの深さ・パターン、かぶり厚さ、コンクリート表面被覆の有無、材料・配(調)合、打継ぎなど。

2) 主として鉄筋の錆の発生条件の観点からみた環境条件

概要について述べる.

1) ひび割れ

コンクリート構造物においては、ひび割れの発生は不可避のものであり、一部の水密構造物を除けば、そのひび割れ幅が一定限度以内であれば、それが構造物の耐荷力あるいは使用性の低下と直接に結びつくものではない。

ひび割れの発生原因は、先の表-3.6に示すように
きわめて多くの要因が絡んでおり、その原因を特定
することは容易ではない。しかし、ひび割れ幅とそ
の補修の要否については、例えば日本コンクリート
工学協会⁵⁾は表-3.7を示しており、耐久性や防水性
の考え方によって異なるものの、概ね 0.2~0.4mm
以上のひび割れには補修が必要であると考えている。

ひび割れの補修には、樹脂注入を行うことが多いが、そのひび割れが進展するか否かによって、選定

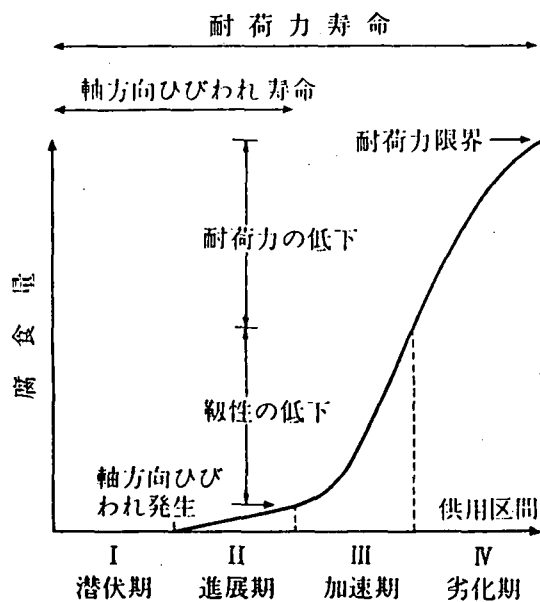


図-3.7 塩害における劣化過程¹¹⁾

する樹脂の特性を合わせる必要がある。例えば、一時的な荷重の作用による構造的なひび割れの場合には、注入剤自体の強度とコンクリートとの付着特性の高いものが好ましい。しかし、アルカリ骨材反応のように、進展性のひび割れの場合には、強度や付着特性よりもひび割れへの追従性が要求される。

いずれにせよ、発生したひび割れの発生原因と今後の推移を適切に検討した上で選定する必要がある。

2) 塩害

大気中においては、コンクリート中であっても、鉄筋表面に一定量以上の塩化物イオンが存在すると、十分な量の水と酸素の存在によって鉄筋（PC鋼材を含む）は腐食する。この塩化物イオンは、海砂の使用、塩化物イオンを含む混和剤の使用、海水の侵入、凍結防止剤の使用などの原因によってコンクリート中に侵入する。塩化物イオンがコンクリートそのものの力学的性質に与える影響は小さく、塩害とは、塩化物イオンの侵入によって引き起こされた鉄筋腐食に起因する。

塩害による劣化過程は、一般に図-3.7で表される。この図では、塩害によって劣化する過程を4段階に分けているが、とくに加速期と劣化期において、鉄



写真-3.1 塩害による変状¹⁾

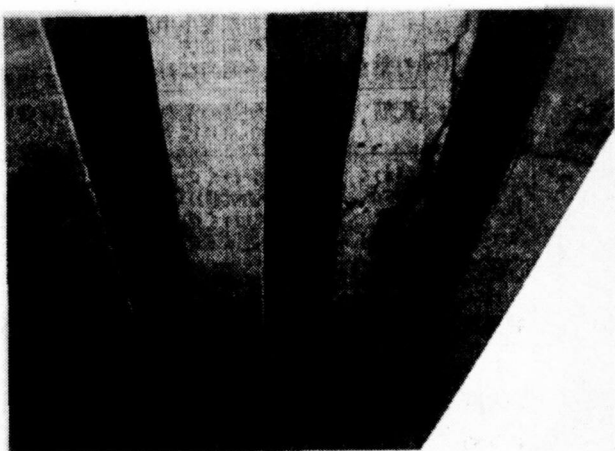


写真-3.2 塩害の塗装補修後の変状¹⁾

筋腐食が急速に進行することに注意が必要である。

既設構造物が塩害を受けた場合の対策には、表面処理、断面修復、電気防食、デサリネーション（電気化学的塩分除去）などがある。

現在の表面処理工法では酸素の大幅な低下は望めないことが知られており、塩分量の低減が主眼となっている。塩分量の低減については、デサリネーションが検討され始め、その効果が期待されてはいるものの、まだ十分に確立された手法ではなく、一般には塩分を含んだコンクリートをはつり取ることがもっとも現実的な方法として採用されている。

完全にはつり取った場合、補修したことによって非腐食部がアノードとなるマクロセル腐食を生じて再腐食が生じることも防ぐことができるが、少しでも塩分を含んだコンクリートをすべてのはつり取るとは困難であり、コンクリートの中のどの部分に進展期以上となるような塩分が含まれているかを判定することもまた困難である。このため、塩分を含んでいる可能性のある、鉄筋に接するコンクリートすべてをはつり取ることが推奨される。

しかし、実際には、腐食による軸方向ひび割れ等が現れた部分のみが、はつり取られることが多い。このような場合、非補修部にはまだ塩分が存在し進展期にあることが多く、再変状を生じる。さらに、工法によっては、非補修部がアノードとなるマクロセル腐食が生じて腐食がかえって加速され、再変状を生じる。補修前の変状と補修後の変状を写真-3.1と写真-3.2に示す。

3) 中性化

コンクリート表面から侵入した二酸化炭素は、コンクリートの細孔溶液中において炭酸イオンおよび炭酸水素イオンとなり、コンクリート中の水和生成物と反応して、炭酸化合物およびその他の物質に分解する。そのため、コンクリートのアルカリ性が低下し、それにともない鉄筋腐食の可能性が生じてくる。中性化の反応には水分の存在が必要であるが、二酸化炭素の透過性は水分によって阻害されることから、極端に乾いた環境下や常に水分の供給がある場合には、中性化はほとんど進行しない。中性化にともなうコンクリート構造物の性能低下は、コンクリート自身の劣化によるのではなく、鉄筋の腐食による耐荷力の低下であり、塩害によるものに比べ緩やかではあるが基本的にはほぼ同様である。

その対策も塩害と同様であるが、電気化学的にコンクリート中のアルカリ性を回復させる、再アルカリ化工法も研究されている。

4) アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応には、アルカリシリカ反応とア

ルカリ炭酸塩反応の2種類が知られており、わが国において被害が見られるものはアルカリシリカ反応（以下ASRと略記）が中心である。

コンクリート中に鉄筋が適切に配置されている場合には、現在のところ、ASRが構造耐荷力に与える影響は少ないと考えられている。したがって、ASRによるコンクリート構造物の劣化は、ASRによるコンクリートの膨張および膨張によって生じるひび割れが、鉄筋腐食などにかかわる耐久性能、部材の変形および美観に与える影響が主たる内容である。したがって、ASRによる劣化モデルには、コンクリートの膨張を指標とするのがよく、その概要を図-3.8に示す。また、これに対応した表面処理保守の基本的な考え方は表-3.8に示すとおりである。

アルカリ骨材反応による変状が問題になるのは、①反応性の骨材、②十分なアルカリ、③十分な水が同時に存在する場合であると考えられている。この三者のうち、アルカリを取り出そうとする試みがあるものの、現在の技術で補修時に制御が可能であるのは、水分であると考えられている。

コンクリート中に水分が存在したままで遮水系の補修を行った場合、すでにコンクリート中に含まれていた水分、あるいは表面処理工法を施せなかった部分からの水分によって、アルカリ骨材膨張は再び進行し、写真-3.3に示すような再変状を生じ、場合によっては無処理の場合よりも変状が大きくなることすらある。補修時にコンクリート中に含まれている水分を散逸させることが期待されているのが、撥水系の表面処理材である。現在撥水系の材料として

注目されている仕様の例を写真-3.4に示す。なお、アルカリ骨材反応に対しては図-3.9に示すように、表面処理仕様の定量的な検討を試みた例もある。

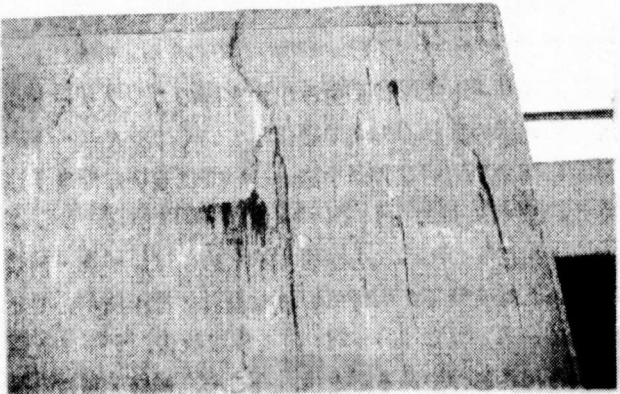


写真-3.3 ASRのウレタン塗装補修後の変状¹¹⁾

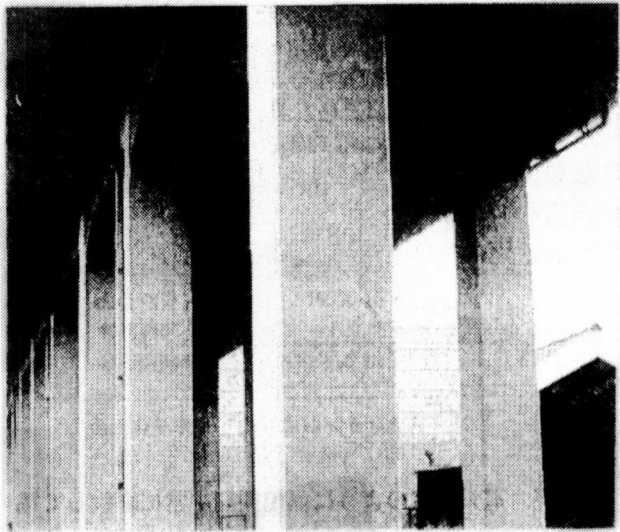


写真-3.4 撥水系による補修¹¹⁾

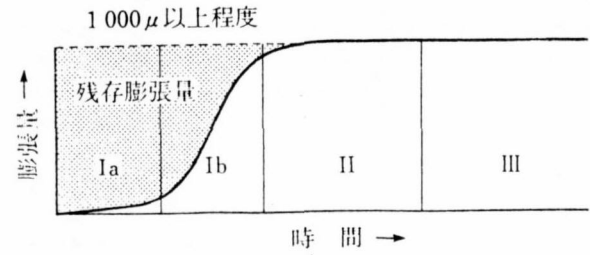


図-3.8 ASRによる膨張の進行段階の区分¹¹⁾

表-3.8 推奨される表面処理材料の系¹¹⁾

環境条件		進行段階		I	II	III
常時水と接している部材				超柔軟型遮水系	柔軟型遮水系	一般と同様
常時は水と接していない部材	補修前に乾燥が可能			超柔軟型遮水系、撥水系	柔軟型遮水系、撥水系	
	補修前の乾燥が困難			撥水系	撥水系	

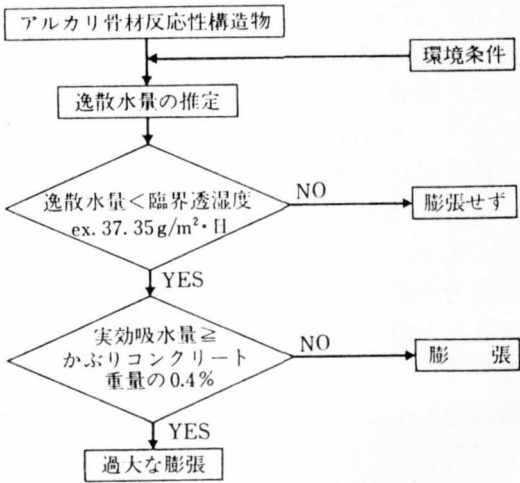


図-3.9 表面処理におけるASR判定フロー¹¹⁾

(4) 補強対策

コンクリート構造物に用いられる補強対策を図-3.10に示しているが、それぞれの補強工法の概要は次の通りである。

① 打換え工法

既設部材を全面あるいは部分的に撤去し、新しいコンクリートで打ち換えるか、プレキャスト部材を設置することで必要な耐荷力を確保する工法であり、橋梁の床版などに適用される。

② 増厚工法

既設部材の上面、下面あるいは側面に鉄筋などを配置し、コンクリートを打ち込むことにより、外力に対する抵抗断面を増加させ、必要な耐荷力を確保する工法であり、橋梁の床版、桁、橋脚などに適用される。

③ 巻立て工法

耐荷力が不足した既設柱部材などの全周に鉄筋を配置し、新しくコンクリートを打ち込むことにより既設部材との一体化を図り、必要な耐荷力を確保する工法であり、橋脚などに適用される。

④ 縦桁増設工法

既存の主桁または縦桁の間に新たな縦桁を増設し、床版の支間を短縮することによってたわみを抑え、耐荷力を確保する工法であり、橋梁の床版などに適用される。

⑤ 支持工法

耐荷力が不足した既設部材を適切な部材や材料を使用して支持することで、外力を分散させたり減少させることにより必要な耐荷力を確保する工法であり、橋梁の床版、桁、橋脚などに適用される。

⑥ 鋼板接着工法

コンクリート断面の外側に鋼板を接着して、既設部材の主鉄筋量または配筋量の不足を補い、既設部材との一体化を図り合成構造とすることにより、必要な耐荷力を確保する工法であり、橋梁の床版をはじめほとんどのコンクリート部材に適用される。

⑦ FRP接着工法

コンクリート断面の外側にガラス繊維、炭素繊維などの繊維材を接着して既設部材との一体化を図り、その上に有機系などの材料を塗り重ねて、炭酸ガス、塩化物イオン、水分などの侵入を防ぐとともに、必要な耐荷力を確保する工法であり、橋梁の床版をはじめほとんどのコンクリート部材に適用される。

⑧ 鋼板巻立て法

耐荷力が不足した既設柱部材などの全周に鋼板を連続して配置し、既設部材との一体化を図り合成構造とすることにより、必要な耐荷力を確保する工法であり、橋脚などに適用される。

⑨ プレストレス導入工法

既設部材にコンクリートを打ち込んでからプレストレスを導入する。あるいはコンクリート断面の外側にPC鋼材を配置してプレストレスを導入することにより必要な耐荷力を確保する工法であり、橋梁の桁、橋脚をはじめほとんどのコンクリート部材に適用される。

上記の各種補強工法と適用部材の関係をまとめて、表-3.9に示しているが、補強工法の選択にあたっては、損傷の原因はもちろん、工法の特徴と部材の特性を考慮することが大切である。

なお、橋梁形式、構造形式、部材形式に応じた、具体的な補強工法については、この後の項で述べている。

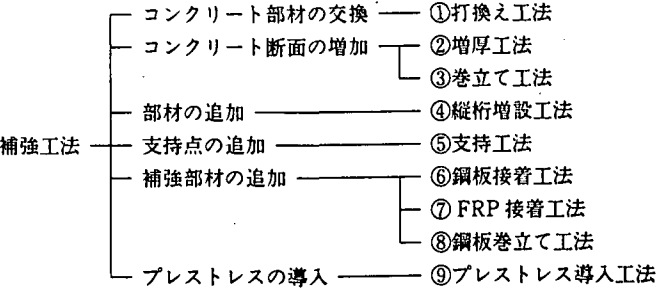


図-3.10 補強工法の例²⁾

表-3.9 補修工法と適用部材の関係²⁾

補 強 の 概 要	補 強 工 法	適 用 部 材			
		は り	ス ラ ブ	柱	壁
コンクリート部材の交換	①打換え工法	○	◎	○	◎
コンクリート断面の増加	②増厚工法	○	◎		
	③巻立て工法			◎	○
部材の追加	④縦桁増設工法	○	◎		
支持点の追加	⑤支持工法	◎	○		
補強部材の追加	⑥鋼板接着工法	◎	◎	○	○
	⑦FRP接着工法	◎	◎	◎	○
	⑧鋼板巻立て工法	○		◎	
プレストレスの導入	⑨プレストレス導入工法	◎		◎	

◎印は実績が多いこと、○印は適用が可能なことを示す。

3.3.2 床版橋・T桁橋・箱桁橋

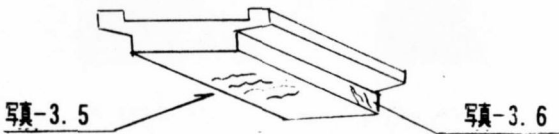
本項では、各種ある橋梁形式の中から最も多い形式である床版橋、T桁橋、箱桁橋の橋体工に着目しその損傷事例・損傷要因およびそれらの補修・補強対策について述べる。なお、ゲルバー形式、ラーメン形式の特殊部位については、3.3.3 ゲルバー構造 3.3.4 ラーメン構造で述べることとする。

(1) 損傷事例

変状および損傷の代表事例を部位別にまとめると次のようである。^{20) 21)}

a) 主桁に関して

今日までに発生している損傷事例は、概ね以下のものであり、それらを総括して図-3.11に示す。



① 支間中央近傍の水平ひび割れ

曲げモーメントの大きなところに発生し、支点に近づくにしたがって側面ひび割れの傾斜が急になる事例を写真-3.5に示す。

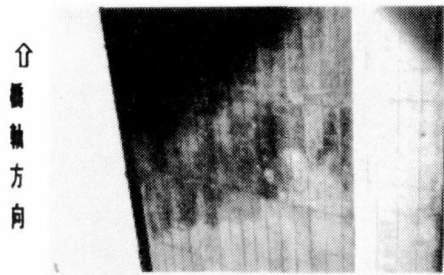


写真-3.5 支間中央近傍の水平ひび割れ

② 端部斜めひび割れ

せん断力が大きく作用するところに発生し、その角度は45度前後で、ウェブを貫通しているのが一般的である。ただし、貫通ひび割れは必ずしも一平面上ではなく、斜めに貫通している場合があるため深さ等の調査に当たっては注意を要する。事例を写真-3.6に示す。



写真-3.6 端部斜めひび割れ

③ PCケーブルに沿ったひび割れ

ウェブ、下フランジの側面、下面等PCケーブルに沿って入っている。ひび割れは、ドライなもの、漏水、鋼材の錆汁、遊離石灰が発生しているウェットなものがあり、それぞれ対策が異なる。

したがって、調査にあたっては、ひび割れ幅、深さ、鋼材かぶり、鋼材の錆、中性化、グラウト充填状況等について十分な調査を行う必要がある。事例を写真-3.7に示す。

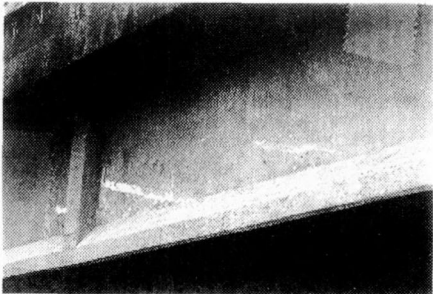


写真-3.7 PCケーブルに沿ったひび割れ

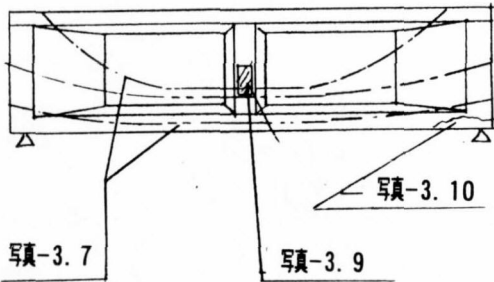
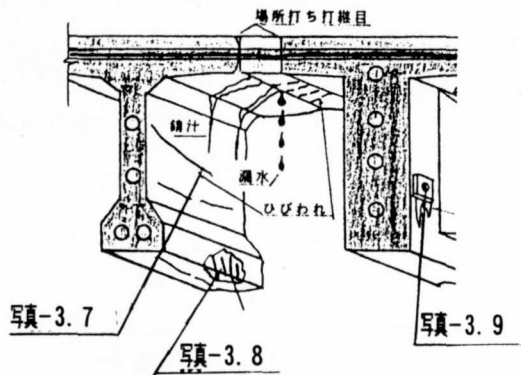


図-3.11 損傷位置図

④コンクリートの剥離剥落

腐食した鋼材の露出、錆汁の発生が見られる場合が多い。調査は、衝突の形跡の有無、鋼材の腐食状態、ひび割れ状況、中性化、塩分等に着目した調査を行う必要がある。

事例を写真-3.8に示す。

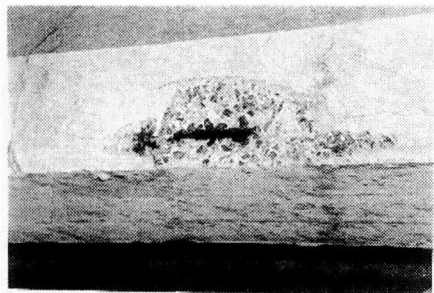


写真-3.8 コンクリートの剥離剥落

⑤ダイヤフラム等後埋め部コンクリートの剥離剥落

雨水により腐食した鋼材の露出、錆汁の発生、まれにP C鋼材の突出が見られる。調査にあたっては、単に鋼材の腐食膨張に伴うものか、その他の要因（P C鋼材の破断等）によるか注意する必要がある。事例を写真-3.9に示す。

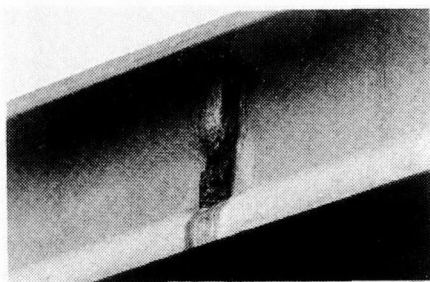


写真-3.9 ダイヤフラム等後埋め部コンクリートの剥離剥落

⑥支承部斜めひび割れ

鋼製支承の上沓部分から発生している場合が多い。したがって、調査は、支承を含め行う必要がある。事例を写真-3.10に示す。



写真-3.10 支承部斜めひび割れ

⑦亀甲状のひび割れ

粗い六角形網状パターンの亀甲状ひび割れとゲルのしみ出しがある。

調査は、通常のひび割れ調査項目の他に骨材分析、コンクリート強度試験を行う必要がある。また雨水の供給とひび割れの関連に注意して行う必要がある。事例を写真-3.11に示す。

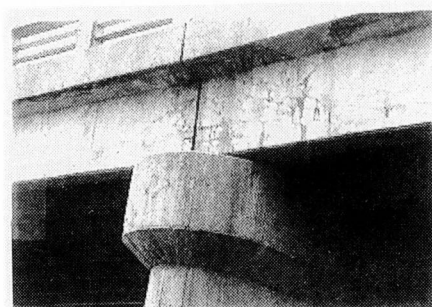


写真-3.11 亀甲状のひび割れ

b) 床版に関して

本項では、中空床版、T桁橋、箱桁橋の床版に関して述べるものとし、鋼橋RC床版については、3.3.5 鋼橋RC床版で述べることとする。

今日までに発生している損傷事例は、概ね以下のものであり、それらを総轄して図化すると図-3.12のようになる。

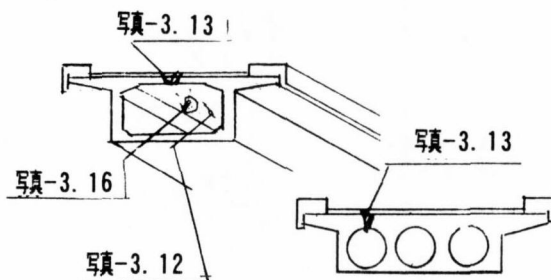
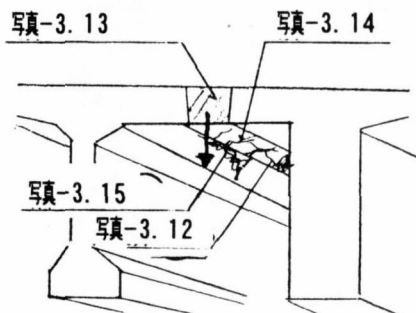


図-3.12 損傷事例図

①床版支間中央のひび割れ

曲げモーメントの大きなところに発生し、その形態は、一方向ひび割れ、二方向ひび割れ、亀甲状のひび割れである。（3.5.5 鋼橋RC床版参照のこと）

調査にあたって注意すべき事項は、遊離石灰の有無、すなわち、貫通ひび割れであるか否かである。事例を写真-3.12に示す。



写真-3.12 床版支間中央のひび割れ

②陥 没

損傷形態としては、亀甲状のひび割れが進行した結果抜け落ちたものと、集中荷重（大型車のジャッキアップ等）により局部的に抜け落ちたものに大別される。事例を写真-3.13 に示す。



写真-3.13 陥 没

③間詰部の鋼材に沿ったひび割れ

発生箇所の多くは、PC鋼材あるいは鉄筋の位置と一致している。そして、その多くは、遊離石灰の発生が見られる。

調査に当たっては、鋼材との関係に留意すべきである。事例を写真-3.14に示す。

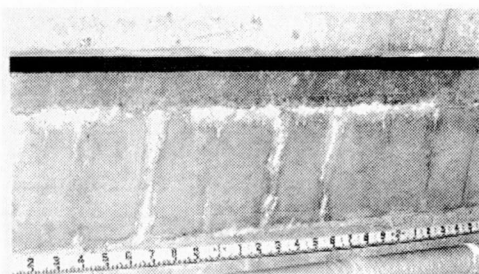


写真-3.14 間詰部の鋼材に沿ったひび割れ

④プレキャスト部材と現場打ち部の打ち継ぎ目から

の漏水。

雨水の浸透で遊離石灰が発生している。事例を写真-3.15に示す。

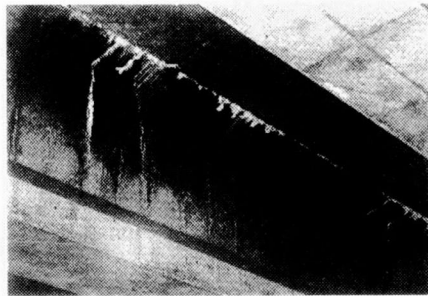


写真-3.15 プレキャスト部材と現場打ち部の打ち継ぎからの漏水

⑤コンクリートの剥離剥落

横締め定着体下面に多く見られる。調査に当たっては、横締め鋼材との関係および鋼材の腐食状況を十分調査しておく必要がある。事例を写真-3.16に示す。

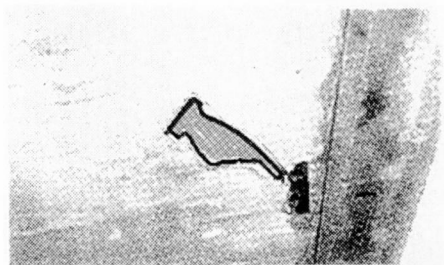


写真-3.16 コンクリートの剥離剥落

C) 横桁に関して

今日までに発生している損傷事例は、概ね以下のものであり、それを総括して図化すると図-3.13のようになる。

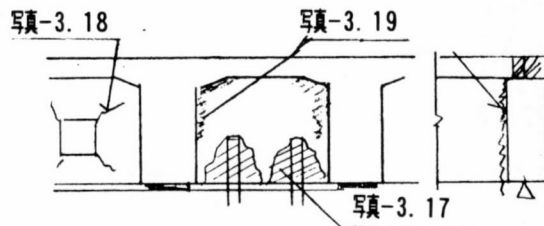


図-3.13 損傷事例図

①アンカーキャップ部のコンクリートの剥離剥落

地震後多く見受けられる損傷である。調査に当たっては、アンカーボルトの損傷状況を見ておく必要がある。事例を写真-3.17に示す。

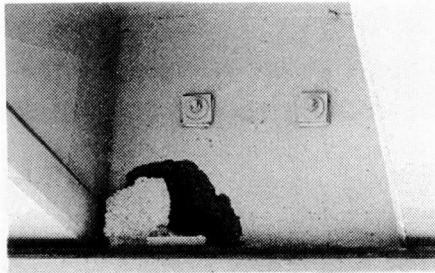


写真-3.17 アンカーキャップ部のコンクリートの剥離剥落

②開口部のひび割れ

添加物等による断面欠損部の開口隅角部のひび割れである。事例を写真-3.18に示す。

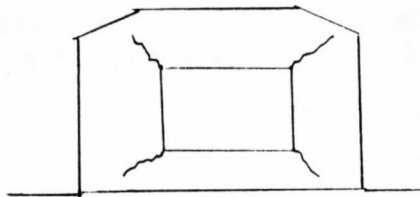


写真-3.18 開口部のひび割れ

③伸縮部後打ちコンクリート部分からの漏水

伸縮のための主桁切り欠き部と伸縮後打部コンクリートと打継目より雨水が浸透して遊離石灰の発生が見られる。

調査に当たっては、橋面舗装を撤去した後打コンクリートの施工状況および排水孔の設置状況の確認をしておく必要がある。

事例を写真-3.19に示す。

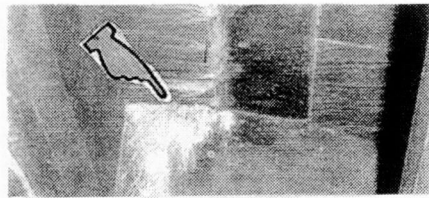


写真-3.19 伸縮部後打ちコンクリート部分からの漏水

④コンクリートの剥離剥落

鉄筋の腐食、露出、鋼材の錆汁、遊離石灰の発生がみられる。

調査に当たっては、鉄筋のかぶり、鉄筋との関係等を調査しておく必要がある。

事例は、省略する。

(2)損傷メカニズム

コンクリート道路橋に発生する損傷は、その構造種別、構造形式、使用材料、使用部材、架橋地の環境、使用条件等によって、その発生箇所、種類、程度が異なる。それらは、前項のごとく表面のひび割れ、剥離、剥落、鉄筋露出、発錆、腐食、漏水、変色等で発見される。

そして、その要因は、i)部材耐力に起因するもの ii)施工不良に起因するもの iii)材料の品質不良 iv)災害、気象作用等に大別される。

一般に、部材耐力不足の場合の損傷は、ひび割れとなってあらわれ、機能的また耐久的に問題となる。

それらは、曲げひび割れ、せん断ひび割れ、押し抜きせん断破壊等である。

前記損傷事例の写真-3.5、写真-3.6、写真-3.12、写真-3.13がこれに該当する。

一方、今日、従来のRCとPCの両極端な部材設計の枠組みから、その中間を埋める手法としてPRCの設計手法が取り入れられ、採用事例も多くなってきた。すなわち、RCの観点から言えば、プレストレスを導入することでひび割れ幅の制御をし耐久性の向上を、従来のひび割れを許容しないPCの観点から言えば、耐久性の観点から問題のない範囲でひび割れを許容し（ただし、水密性の必要な構造物は別である）、より合理的、経済的な構造物の構築を目的としている。これからは、設計思想にも目を向ける必要がある。他の要因については省略するが、前記損傷事例を損傷の種類と要因の関係で示すと、概ね図-3.14のようになる。

また、前項で掲げた損傷事例について、その要因を設計、施工、外的要因に大別し分析を行ったものを表-3.10に示す。

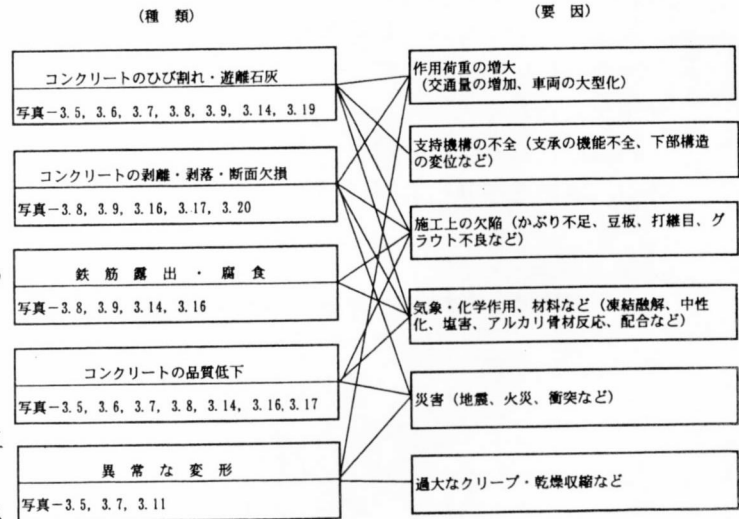


図-3.14 コンクリート橋の損傷の種類と要因

(3)損傷度評価と対策

補修・補強対策に際しては、十分な損傷要因の分析と評価を行う必要がある。劣化メカニズムに適切に対応した方法を取らずに、再変状を生じた事例は極めて多く、再補修・補強に当たって以前の対策が足かせとなり、対策をより困難にしている事例は数多い。補修・補強対策の工法選定に当たっては、十分な変状予測を踏まえた工法決定が肝要である。

ここで、もう一度劣化・損傷とその要因そして要因の大別と補修・補強の流れを整理すると図-3.15のようになる。

コンクリート橋における損傷は、i)ひび割れ、剝離などの目視し得るものと、ii)作用荷重に対する耐力力の不足に大別される。

前記損傷事例について、統一的な評価判定方法を述べるのは困難である。それは、多くの場合損傷原因はひとつではなく、相互に関連していることである。また、耐力力に関しても、現行の荷重下で計算上応力度照査を実施し、かなりの応力超過をきたすことが明確になったとしても、現実にはさしたる変状を生じていない場合も多々ある。部位によっても異なる。

したがって、損傷度の評価と対策に際しては、劣化損傷の部位やその程度に対する工学的見地からの検討はもちろんのこと、それ以外にも構造物の置かれている環境、重要度、維持管理状況、交通状況、過去の補修・補強履歴等、総合的見地から評価判定すべきである。

また、補修・補強工法の選定に当たっては、

- ・交通規制の可否
- ・環境の改善になるか
- ・走行性の改善を図れるか
- ・施工性
- ・工期
- ・景観性

等に配慮する必要がある。

そして、工法の選定条件としては、補修・補強の効果は大であるか、将来予測に対応できるか、耐久的経済的であるか、美観はどうか等である。

最後に、対策決定におよぼす条件の一つとして示方書の改定に伴う事項がある。

それは、①活荷重の改定

大型車（TL-25）対応（平成6年2月）

②耐震基準の改定（平成8年12月）

である。

活荷重の改定により、本項で対象としている橋梁形式の主桁設計断面力への影響は大きく、TL-20で設計している橋梁であれば約20%の増加となり、示方書レベルの許容値で判定すると大半の橋梁がア

ウトとなる。しかし、既存の橋梁の全てに対してすぐに補強対策を講じるかとなると、予算その他工学的な観点以外の条件を含め、総合的な判断が必要とされる。しかし、新設と違った工学的判定基準を必要とすることは確かである。

耐震基準の改定が本項で対象としている橋梁形式に及ぼす影響は、支承、アンカーボルト、落橋防止関係である。支承、アンカーボルト、落橋防止に関しては、別の章で述べているためここでは省略するが、本項に関して言えば、これに付随して横桁の耐力力アップを図る必要があると言える。

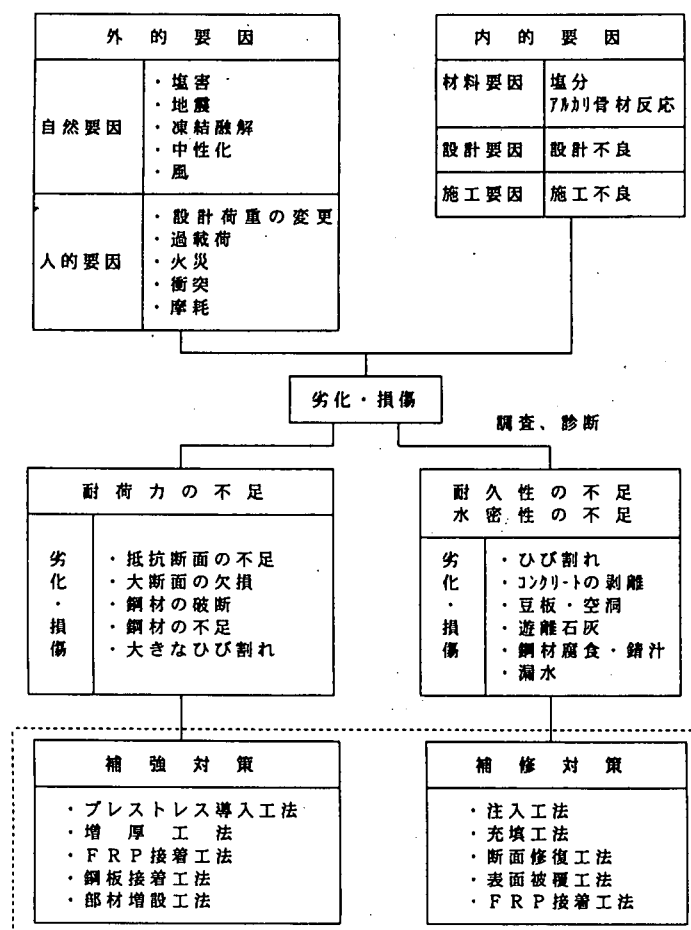


図-3.15 劣化損傷要因と補修・補強

(4)補修・補強対策

補修工法として、いままでに多く用いられている方法は、注入・充填工法、断面修復工法、表面被覆工法、FRP接着工法等である。

また、使用される材料は、大きく分けて樹脂系とセメント系があり、要求項目としては、接着性、可撓性、耐久性、作業性、耐水性、耐アルカリ性、収縮性、経済性等である。

材料選定にあたっては、補修の目的、構造物のおかれている環境その他総合的見地から決定されるべ

表-3.10 損 傷 要 因

部位	損傷事例	要 因		
		設計要因	施工要因	外的要因
主桁	支間中央近傍の水平ひび割れ =曲げひび割れ 《写真-3.5》	・設計計算図書の誤り ④損傷状況と設計思想の関係はよく見ておく必要あり(PRC設計等)	・コンクリート品質不良 ・導入プ・レストレスの不足	・作用荷重の増大
	端部斜めひび割れ =せん断ひび割れ 《写真-3.6》	・設計計算図書の誤り	・コンクリート品質不良 ・配置鉄筋量不足不適切	・作用荷重の増大
	PCケーブルに沿ったひび割れ 《写真-3.7》		・ク・ラウトが不十分な場合その空所に雨水等が浸透滞留して凍結膨張または漏水導通石灰がない場合はク・ラウト直後本体の凍結膨張	
	コンクリートの剥離剥落 《写真-3.8》		・カブ・リ不足、豆板、打雑目処理と浸透水による鋼材腐食膨張 ・材料品質不良(海砂使用など)	・コンクリートの中性化、塩害、アルカリ骨材反応
	タ・イヤフラム等後張り部コンクリートの剥離剥落 《写真-3.9》	・配置鉄筋の検討不足	・後張りコンクリートの締固め不足、鉄筋の不足	
	支索部斜めひび割れ 《写真-3.10》		・支索の機能不全	・地震によるせん断ひび割れ
	亀甲状のひび割れ 《写真-3.11》		・材料品質不良、中でもアルカリ骨材反応	
床版	床版支間中央のひび割れ =曲げひび割れ 《写真-3.12》	・設計計算図書の誤り ④損傷状況と設計思想の関係はよく見ておく必要あり	・材料品質不良(主にコンクリート) ・導入プ・レストレスの不足	・作用荷重の増大
	陥・没=押抜きせん断破壊 《写真-3.13》	・設計計算図書の誤り ・断面形状 配置鉄筋の検討不足	・材料品質不良(主にコンクリート)	・作用荷重の増大
	間隙部の鋼材に沿ったひび割れ 《写真-3.14》	・配置鉄筋の検討不足	・ク・ラウトが不十分な場合その空所に雨水等が浸透滞留して凍結膨張または漏水導通石灰がない場合はク・ラウト直後本体の凍結 ・締固め不十分な場合など乾燥収縮による	・作用荷重の増大
	プ・レキャスト部材と現場打部の打雑目から漏水導通石灰 《写真-3.15》		・材料品質不良 ・導入プ・レストレスの不足 ・雨水処理不足	
	コンクリートの剥離剥落 《写真-3.16》		・カブ・リ不足、豆板、打雑目処理と浸透水による鋼材腐食膨張 ・材料品質不良(海砂使用など)	・コンクリートの中性化、塩害(凍結防止剤)、アルカリ骨材反応
横桁	アンカーキャップ部のコンクリート剥離剥落 《写真-3.17》	・配置鉄筋の検討不足	・カブ・リ不足、打雑目処理と浸透水による鋼材腐食膨張 ・材料品質不良	・作用荷重(地震)の増大
	開口部のひび割れ 《写真-3.18》	・配置補強鉄筋の検討不足	・締固め不十分	
	伸縮部後打コンクリート部分からの漏水 《写真-3.19》	・雨水処理の検討不足 ・取り合い等 形状検討不足	・材料品質不良 ・締固め不十分	
	コンクリートの剥離剥落 《写真-3.20》		・カブ・リ不足、打雑目処理と浸透水による鋼材腐食膨張 ・材料品質不良 ・締固め不十分	・作用荷重(地震)の増大

きである。

ここでは、個々の工法また材料の詳述は省略するが、工法の概念図を図-3.16に、材料と工法の一般的な適性を表-3.11に示す。

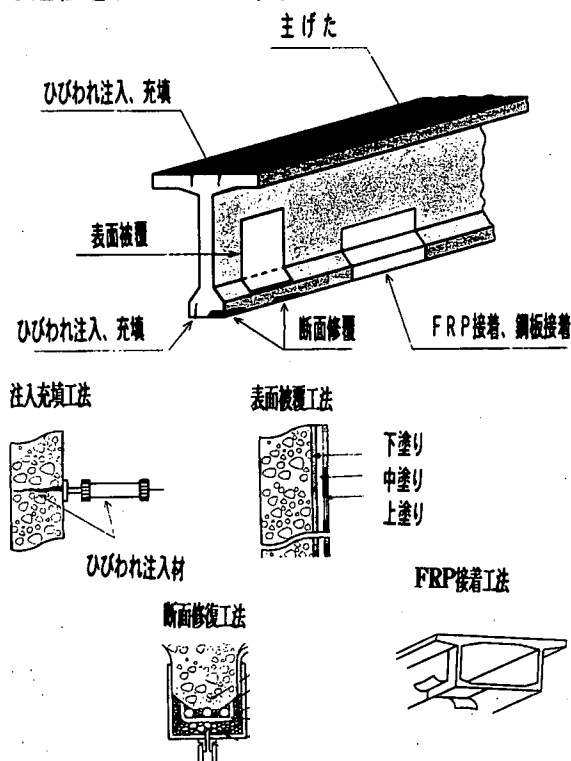


図-3.16 補修工法概念図

表-3.11 補修材料と工法の適性

種 類		注入工法	充填工法	表面処理工法
樹脂系材料	レジンモルタル		○	
	エポキシ樹脂	○	○	
	可溶性エポキシ樹脂	○	○	
	弾性シーリング材		○	○
	絶縁弾性防水材			○
セメント系材料	ポリマーセメントスラリー	○		
	ポリマーセメントペースト			○
	ポリマーセメントモルタル		○	
	セメントフィラー			○
	脚張セメントグラウト	○		

次に、補強工法について述べる。
今までに用いられている補強工法としては、下記の工法が挙げられる。

- ・プレストレス導入工法
- ・上面、下面増し厚工法
- ・FRP接着工法
- ・鋼板接着工法
- ・部材増設工法

ここでは、個々の詳述は省略し、その概念を図-3.17に、補強目的と断面形状・補強工法の関係を表

-3.12に示す。

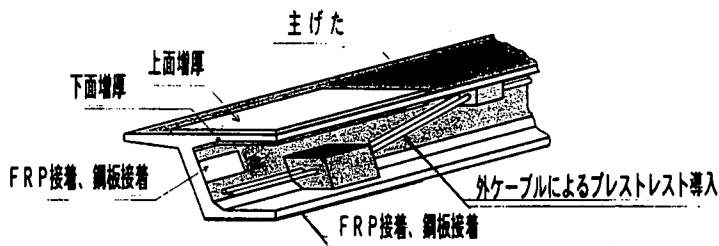


図-3.17 補強工法概念図

表-3.12 補強目的と断面形状・補強工法

工 法	目 的	断 面 形 状		
		床版橋	T桁橋	箱桁橋
プレストレス導入工法	曲げ耐力	○	◎	◎
	せん断耐力		◎	◎
上面、下面増し厚工法	曲げ耐力	◎	◎	◎
	せん断耐力			
FRP接着工法	曲げ耐力	○		
	せん断耐力		○	○
鋼板接着工法	曲げ耐力	○	○	○
	せん断耐力		○	○

記：◎適している，○対応できる

これら補強工法の場合は、補修工法と併用されるのが一般的である。

最後に、前記損傷事例の個々について、その補修・補強工法の選定目安となるようまとめたものを表-3.13に示すとともに、代表的な補修・補強事例として5例ほど示す。

表-3.13 損傷事例と補修補強工法の目安

部位	損 傷 事 例	補 修 工 法			補 強 工 法			その他			
		出入、充填工法	断面修復工法	表面被覆工法	FRP鋼板接着工法	プレストレス導入工法	上面増し厚工法		下面増し厚工法	FRP接着工法	鋼板接着工法
主 桁	支間中央近傍の水平ひび割れ	○		△		◎	▲		▲	●(RC)	
	端部斜めひび割れ	○				●			◎	▲	
	PCケーブに沿ったひび割れ	◎									
	コンクリートの剥離剥落		◎	△							
	タビヤフレーム等後理コンクリートの剥離剥落		◎								
床 版	支承部斜めひび割れ	◎	◎						▲	△	
	亀甲状のひび割れ	△		◎		△					
	床版支間中央のひび割れ	○					●	○	▲	●	△
	陥 没		○							○	
	間詰め部の鋼材に沿ったひび割れ	◎	*橋面防水工施工必要	○							
横 桁	フレキヤスト部材と現場打部の打継目からの漏水	○	*防水工が必要								
	コンクリートの剥離剥落		○								
	アンカーキャップ部のコンクリートの剥離剥落										
	開口部のひび割れ	◎									○
	伸縮部後打コンクリート部分からの漏水	◎	*後打部コンクリートの再施工と止水工								
桁	コンクリートの剥離剥落		○								
適 用		損傷事例		補修工法	補強工法	見 方					
		a	◎ ○ ○ △	◎ ○ ○ △ ●	←補修と補強工法の併用を示す						
見方		● ◎ ○は 併 用 ● ◎ △時として併用あり		● ◎は ◎もしくは○の代替策							

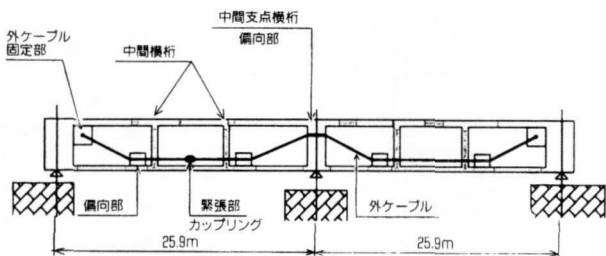
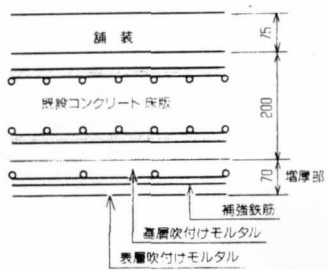
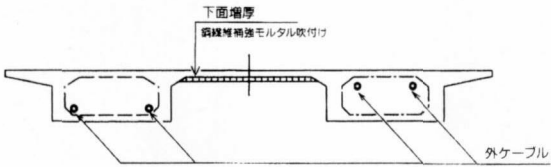
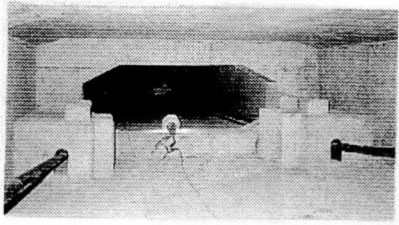
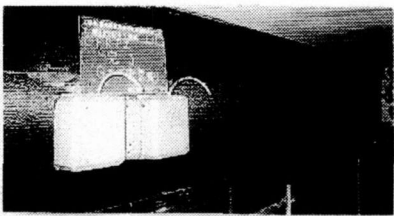
1) 事例名称は、3.3.2(1)の写真名称と一致。

2) 上表中の見方は下記のとおり。

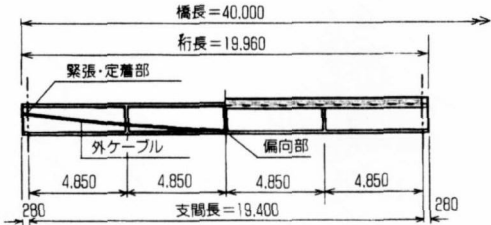
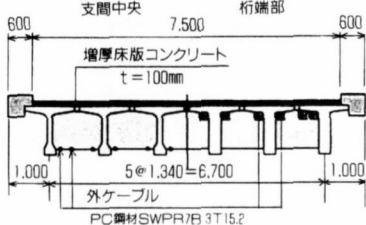
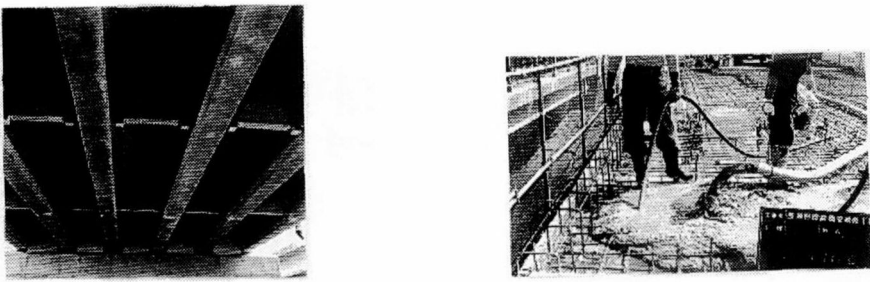
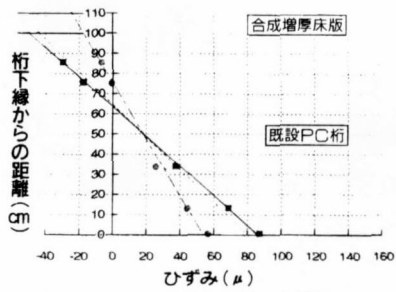
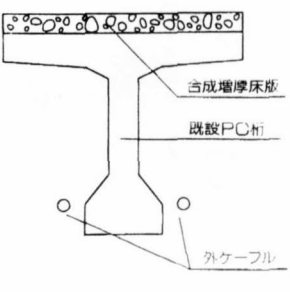
- 1) 事例名称は、3.3.2(1)の写真名称と一致。
2) 上表中の見方は下記のとおり。

損傷事例	補修工法	補強工法	見 方
a	◎ ○ △	◎ ○ △ ●	←補修と補強工法の併用を示す
見方	◎ ○ △ は 併 用 ● △ 同時として併用あり	● ● は ◎ もしくは ○ の代替策	

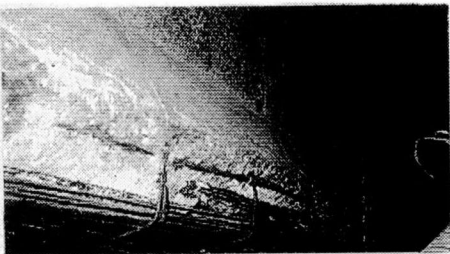
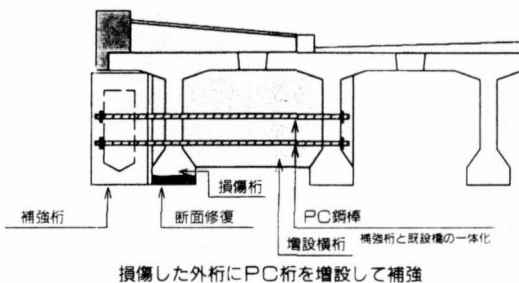
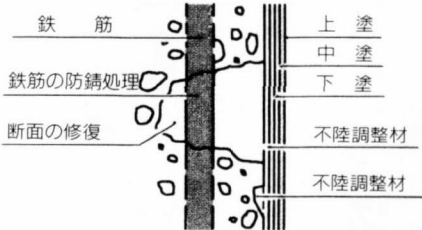
補修・補強事例 (1)

損傷状況と補修補強目的		状況；床版下面のひび割れ、主桁に一部曲げひび割れがあった。 目的；①主桁の曲げおよびせん断耐力の向上と大型車対応。 ②床版の補修・補強。 ③表面補修。
採用工法	補修	①注入工法。(エポキシ樹脂) ②断面修復工法。(樹脂モルタル、無収縮モルタル) ③表面被覆工法。(柔軟型ウレタン樹脂) ④支承の取り替え。
	補強	①プレストレス導入工法。(外ケーブル工法) → 曲げ、せん断補強 ②FRP接着工法。(炭素繊維積層接着) → せん断補強 ③床版下面増厚工法。(鋼繊維補強モルタル吹き付け) ④床版上面増厚工法。(超速硬鋼繊維補強コンクリート)
概略図および工事写真		側面図  下面増し厚図および施工状況  断面図  外ケーブル配置状況  ウェブFRP接着状況 

補修・補強事例 (2)

損傷状況と補修補強目的		目的；①主桁の曲げおよびせん断耐力の向上と大型車対応。 ②床版の補修・補強。 ③表面補修。
採用工法	補修	①表面被覆工法。(柔軟型ウレタン樹脂) ②支承の取り替え。
	補強	①プレストレス導入工法。(外ケーブル工法) → 曲げ、せん断補強 ②床版上面増厚工法。
概略図および工事写真		橋梁側面図  橋梁横断面図  概略図および工事写真 
載荷試験結果		載荷試験によるひずみ分布  ひずみ分布から増厚床版が合成構造となっている  計算値 - 外ケーブル補強前 - 外ケーブル補強後 - 外ケーブル補強後、床版増厚(合成)後 実測値 - 外ケーブル補強前 - 外ケーブル補強後 - 外ケーブル補強後、床版増厚(合成)後

補修・補強事例 (3)

損傷状況と補修補強目的		状況；下記写真の如く船舶の衝突および塩害である。 目的；①主桁の曲げ耐荷性能の向上。（大型車対応含む） ②コンクリート表面補修。	
採用工法	補修	①断面修復工法。（プレパクトポリマセメントコンクリート） ②表面被覆工法。	
	補強	①部材増厚工法。（P C 桁の増設）	
概略図および工事写真		損傷状況写真  補強要領図  損傷桁の補修断面図  損傷した断面をプレパクトポリマセメントコンクリート工法で補修 桁断面の補修要領  	

補修・補強事例 (4)

目 的	R C 中空床版橋の曲げひび割れ対策。 ・主桁の曲げ耐力の向上。	
工 法	補 修	・注入工法。
	補 強	・鋼板接着工法。
概 略 図		

補修・補強事例 (5)

目 的	R C 3 径間連続中空床版橋の曲げ耐力の向上。	
工 法	補 修	-----
	補 強	・外ケーブル工法。
概 略 図		

3.3.3 ゲルバー構造

前項では、コンクリート橋上部工一般に関する損傷（事例・要因）と補修・補強対策について述べたが、本項及び次項（3.3.4 ラーメン構造）ではその構造形式が原因となる損傷と対策について記述する。

コンクリートゲルバー橋は、径間数が多く連なる高架橋や支保工の設置が困難な部位（河川、道路、鉄道など）に架かる橋梁などその構造の単純さから過去に多用されたが、今日、機構（ディープビーム、コーベル、応力集中）や自動車荷重の増大が原因となる損傷が多く見受けられている。本構造形式は特殊な立地条件でない限り、今日では採用される事例は少ない。

(1) 損傷事例

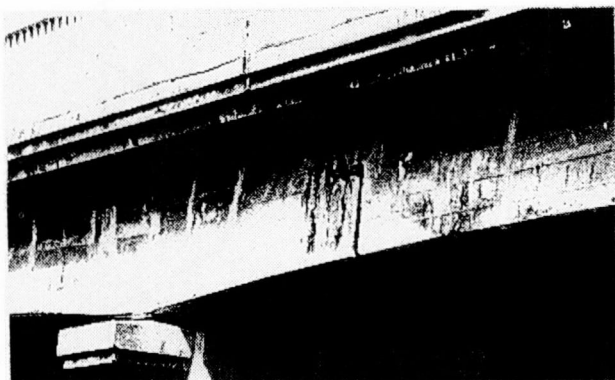


写真-3.21 R C 桁ゲルバー部の損傷

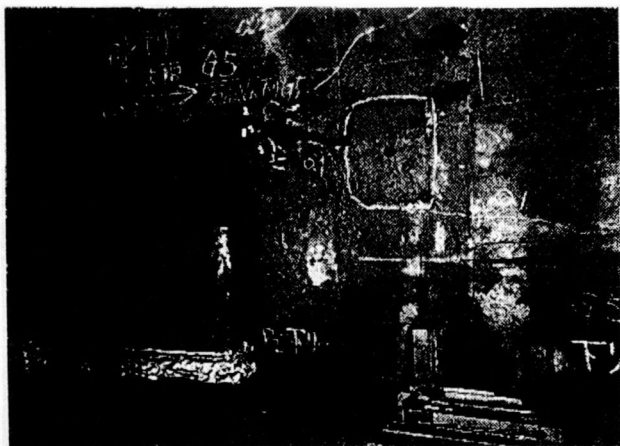


写真-3.22 P C 桁ゲルバー部の損傷

写真-3.21は、R C T 桁橋のゲルバー部に見られる損傷の事例である。突桁の隅角部の斜引張応力によるひびわれよりも突桁支承下から鉛直方向にのびるひびわれが顕著である。

写真-3.22は P C T 桁橋のゲルバー部の損傷事例である。吊桁、突桁の隅角部にゲルバー構造特有のひびわれが発生している。この写真の橋梁では、損傷初期に突桁の補強がまず施され、損傷進行に連れ、吊桁を方杖により支持することにより構造の補強対策が講じられていた。

(2) 損傷メカニズム

ゲルバー構造の主な損傷の種類と要因を図-3.18に示す。

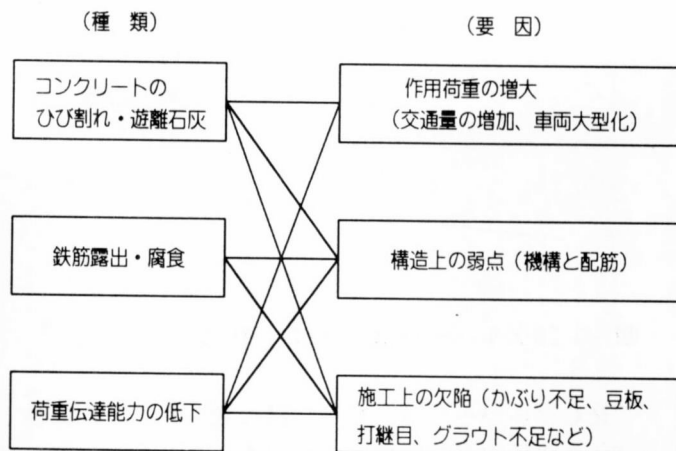


図-3.18 ゲルバー構造の損傷の種類と要因

コンクリートゲルバー（かけ違い部）は吊げた及び突げた両方とも断面が半減するので、曲げ応力度、せん断応力度が急激に増大し、部材設計は厳しい条件となる。切欠き部の内角には断面急変に伴う応力集中が生ずるとともに、コンクリートの硬化過程における不均等収縮あるいは温度の不均等分布などによって引張応力度が誘起されるため、ひびわれ発生が少なくない。

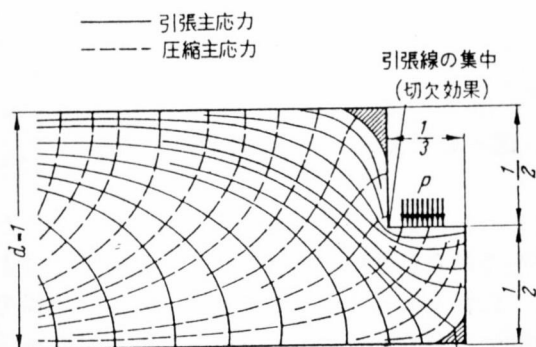


図-3.19 突げたの主応力度線^{2,2)}

構造上の弱点（断面急変）が原因となる損傷の代表は図-3.20に見られる斜引張りひびわれである。

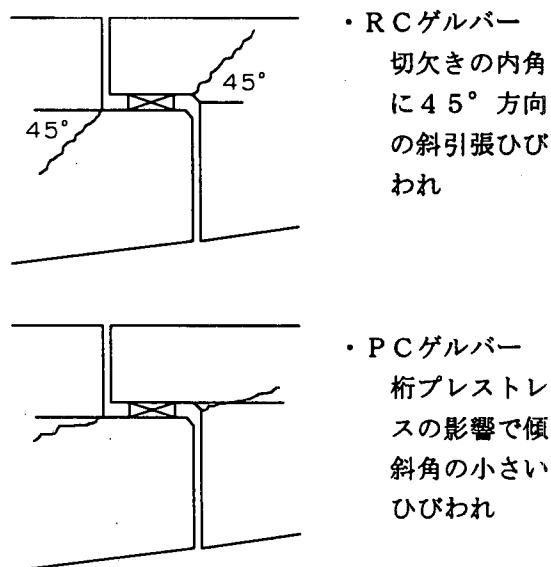


図-3.20ゲルバー(RC, PC)の代表的ひびわれ²³⁾

RCゲルバーでは、図-3.21に見られるようにひびわれの傾向が複雑で、どれが主たるひびわれであるかを特定できない場合が多い。図中(d)のように、多方向にひびわれが発生する場合は施工上の欠陥、品質の悪いコンクリートも要因であろう。

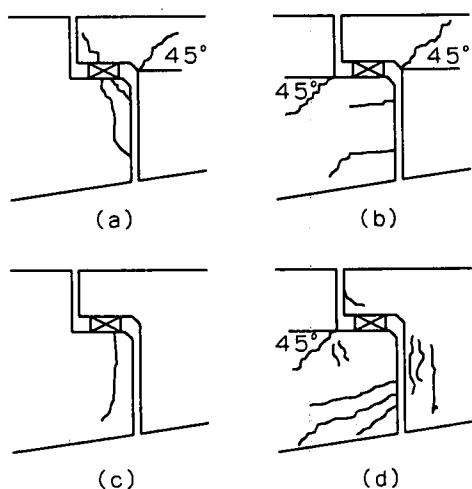


図-3.21RCゲルバーひびわれの種類²³⁾

ヒンジ部は雨水が浸入しやすく湿潤状態にあるため鉄筋の腐食が進行しやすく、また変動荷重による疲労の影響を大きく受けるため、これによる損傷（付加的ひびわれ、コンクリートはく離）も顕著である。すなわち、ヒンジ部は非常に過酷な条件の下で使用されており、ひびわれが耐久性に大きな影響を及ぼすことになる。

(3) 損傷度の評価と対策

ゲルバー部に対する供用の可否、補修、補強の要否は、耐久性、耐荷性、機能性及び周辺環境への影響性の評価結果に構造物や部材の重要度などを考慮し、総合的に判定する。補修・補強の判定フローの一例を図-3.22に示す。

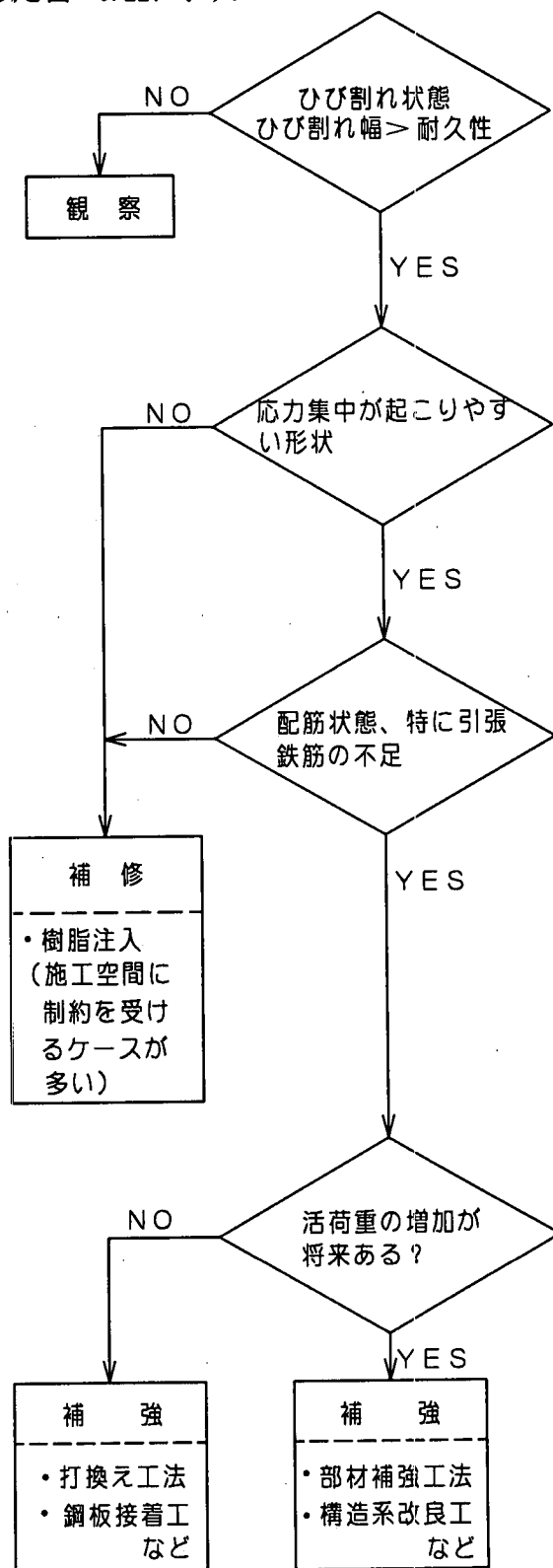


図-3.22補修・補強判定フロー

このフローは、ゲルバーに発生したひびわれ状態を耐久性、耐荷性の観点から評価し、補修・補強を判定するものとして作成した。

耐久性（防水性）から補修・補強の要否を判定する場合、参考文献⁶⁾で提案されたひびわれ幅の限界が指標となる。また耐荷力を判定する場合、ゲルバー部（かけ違い部）の形状や配筋状態などを道路橋示方書や参考文献²⁴⁾などにより現状の終局耐力を算出し、評価することになる。偶角部の応力集中を緩和する方法として、かけ違い部の形状改善（図-3.23）が有効である。

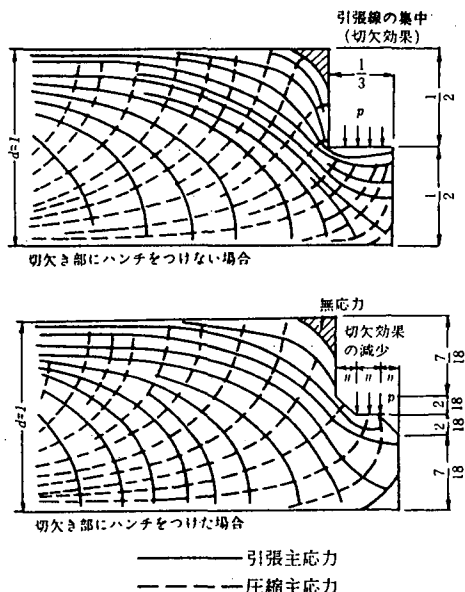


図-3.23 かけ違い部の形状と主応力分布²²⁾

(4)補修・補強対策

ゲルバー部の補修・補強対策として、実績・計画のものの中から、5例を紹介する。

1)現況ヒンジ部打換え工法

この工法は、RC橋に限定されるが、既設ヒンジ部を撤去し、応力集中の生じにくい理想的な形状、配筋に改良する打換え工法である。この工法は、全体構造系の性状（主桁の断面力）がほぼ現状となり、補助的な補強を伴わないことや、ヒンジ查の改良が容易に行えることなどの利点がある。一方、工事に伴ない交通規制を要することや、部材の打継ぎ面の処理に留意を必要とするなど制限がある。（図-3.24）

2)添え桁(H鋼)+プレストレス導入工法

この工法は突桁、受桁のゲルバー損傷（ひびわれ）が進行し、ゲルバー部位の荷重伝達能力が不足した場合の補強対策の一例である。突桁下面に剛性の高い補剛桁（H鋼）を配し、突桁とPC鋼棒で一体化

する。前面に配したPC鋼棒により、突桁の偶角部

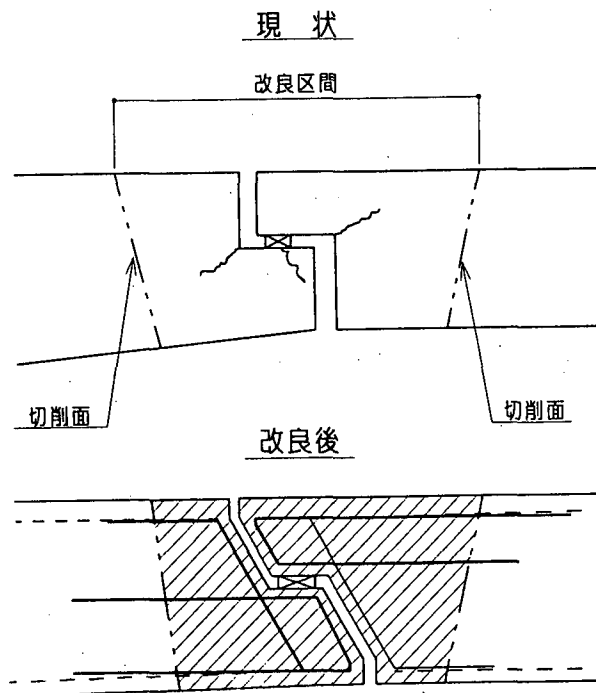


図-3.24 現況ヒンジ部打換え工法²⁵⁾

の斜引張応力を抑制するプレストレスが導入できる。添え桁をさらに、吊桁下面まで延長させ、それで吊桁反力を受ける構造（支点の移動）とすれば、ゲル

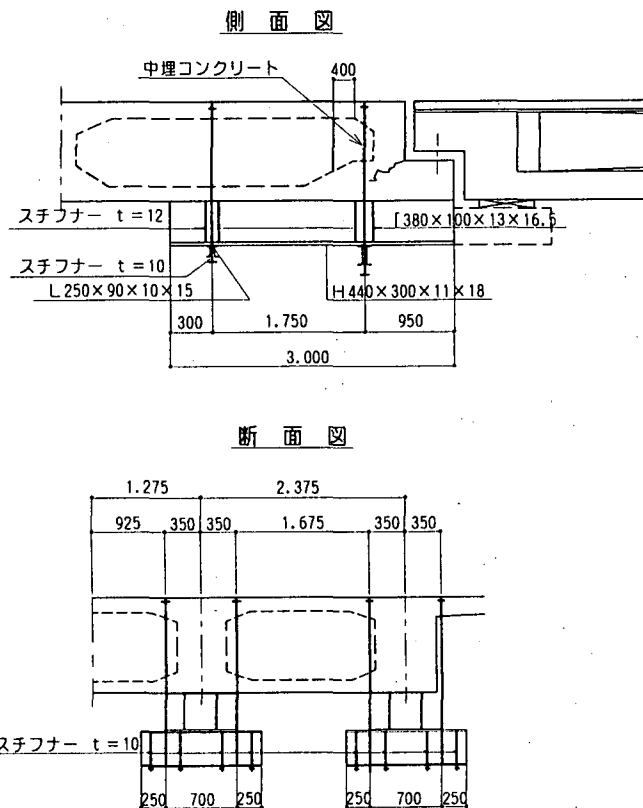


図-3.25 添え桁（H鋼）+プレストレス導入工法

バー部の負担が少なくなる。この方法は、添え桁の剛性が突桁補強単独の場合に比べ大きなものが必要となる。

この工法は応急対策の位置付けとなる。すなわち、ゲルバー部位を直接改良することなく、現況の荷重伝達能力を補償する方法であるので、構造の連続性・景観などが損なわれる可能性が高い。(図-3.25)

3) 方杖補強工法

既設橋脚にトラス式方杖工を設け、吊桁の端部下面を方杖で直接支持する工法である。ゲルバー部位の発生応力を低減することにより、ゲルバー損傷の進行を抑制する効果がある。ゲルバー部を直接改良することなく補強が可能であるが、一般に工事費は高くなる。また、方杖工はそれ自体に変形を生じるものであるから、突桁の剛性に比べ方杖工のそれが低くすぎると、補強効果が薄れる。(図-3.26)

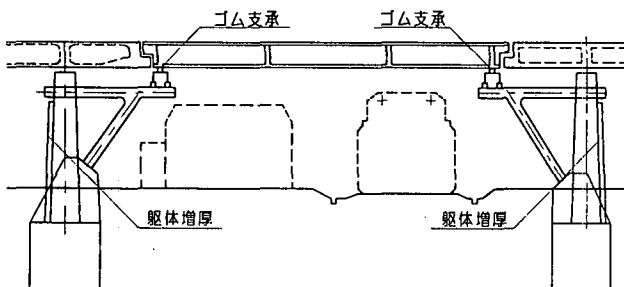


図-3.26 方杖補強工法

4) 吊支承工法

吊桁の端部下面に支承(偏向装置)を配置し、橋脚上を定着端とするPCケーブルの鉛直分力により、ゲルバー部の発生応力の低減を図る工法である。

方杖補強工法と同様に、ゲルバー部を直接改良することなく、補強が可能であり、方杖工法のように桁下空間を閉塞することが無いことから景観性にも優れる。しかしながら、桁高の低い構造では、支持点の偏向角度が小さいため所定の鉛直分力を導入するために、過度なPCケーブル量を要すことになり合理性が薄れる可能性がある。また、活荷重により発生するゲルバー応力の低減効果は微かである。

(図-3.27)

5) 構造系改良工法(ゲルバー部撤去)

損傷を受けたゲルバー部(突桁の一部と吊桁)を撤去し、新たな構造系として橋梁を技術的に改良する工法である。

この工法は、ゲルバー部のある径間を全て架け換えるものであり、構造系変更後の隣接径間の補強

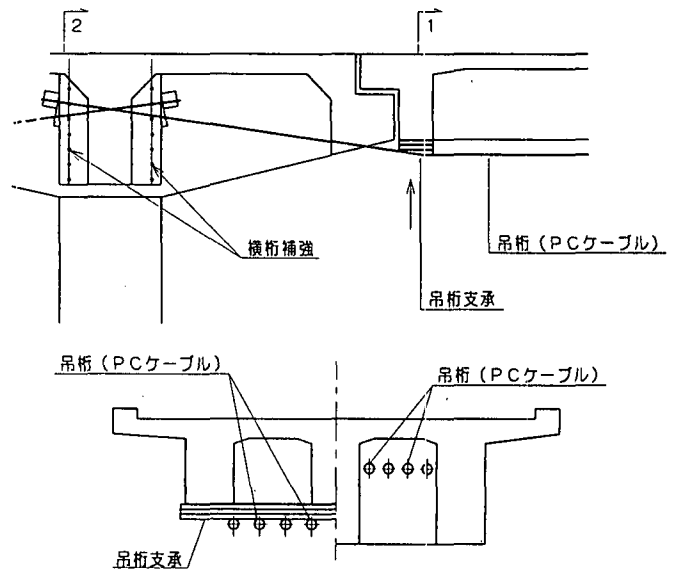


図-3.27 吊支承工法

(外ケーブル)等を加えると、改良に伴う工事費が大きくなる。吊桁が他の要因による損傷度が厳しいなど、全体的な必然性の中で講じられる対策工法である。ポストテンションPC桁の場合、切断による既設桁PC鋼材の緊張力の保持が問題となるが、静的破砕材を利用した仮固定装置が開発され、実橋の改良工事に供されている。(図-3.28)

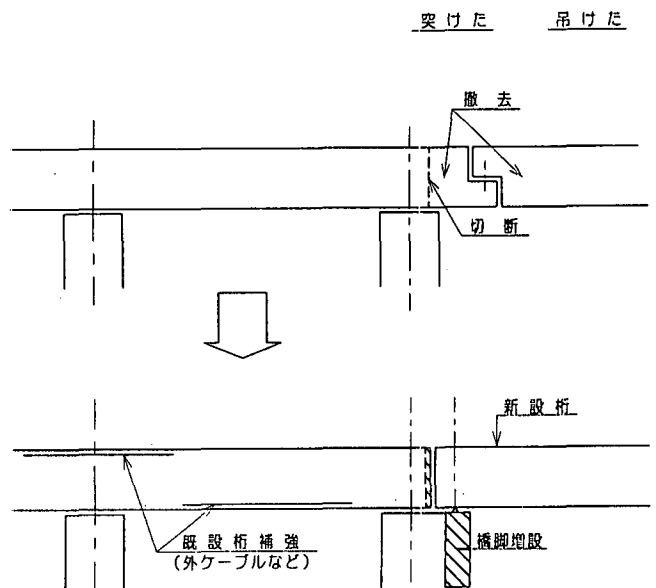


図-3.28 構造系改良工法(ゲルバー部撤去)

3.3.4 ラーメン構造

ラーメンとは構造形式の一つであり、直線部材を組んで構成した骨組み構造で、部材が相互に剛結されている構造形式の総称である。

ラーメン橋は不静定で構造が安定しており、支承を省略することが可能であり、耐震性に優れている反面、温度応力やPC構造の場合はプレストレスによる二次応力が発生するなど、すべての橋梁への適用性があるわけではない。

わが国で広く採用されているラーメン橋の例としては、RC構造連続ラーメン橋、PC斜材付き π 形ラーメン橋、PCラーメン橋（有ヒンジラーメン橋、T形ラーメン橋、連続ラーメン橋等）が挙げられる。

ラーメン構造にゲルバー部を含む構造もあるがゲルバー構造については3.3.3ゲルバー構造の項で述べているので省略する。

ここでは代表的な例としてRC構造連続ラーメン橋とPCラーメン橋の有ヒンジラーメン橋の例を述べる。

(1) 損傷事例

a) RC構造連続ラーメン橋

ラーメン橋は水平部材と鉛直部材を剛結していることによる利点がある反面、それゆえにその部分に損傷を起こしやすい。RC構造連続ラーメン橋では梁部下面に曲げひび割れが、隅角部には斜め方向のひび割れが生じる損傷が見られる。

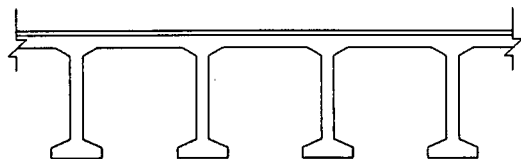


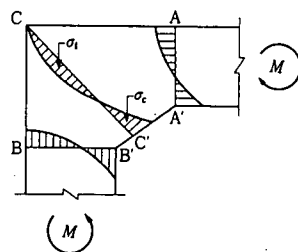
図-3.29 RC構造連続ラーメン橋

ラーメン構造の接点部は、応力の方向が急変し、応力の伝達機構が複雑である。たとえば、外側引張の曲げモーメントが作用した場合の接点部の応力分布は、コンクリートの全断面を有効とすると図-3.30に示すような状態になる。よってラーメン隅角部には、ハンチを設けることを原則とし、十分な鉄筋量を配置することとなっている。

b) PC有ヒンジラーメン橋

PCラーメン橋では、プレストレスや温度変化、クリープ・乾燥収縮等による軸方向変形を拘束することにより不静定力が発生する。

PC有ヒンジラーメン橋においては、張出し架設する場合には、架設中のモーメント分布と完成後の



ここに、 M : 作用する曲げモーメント (kgf・cm)

σ_t : 引張応力度 (kgf/cm²)

σ_c : 圧縮応力度 (kgf/cm²)

図-3.30 ラーメン端接点部の応力分布²⁷⁾

モーメント分布が相似で非常に適しており、水平地震力に対しても各橋脚で分担されるので連続桁形式に比べ有利となる。さらに、橋脚の不等沈下に対しても橋体に生じる応力は小さいので、軟弱地盤上の橋梁にも適した構造である。しかしながら、この形式の橋梁では、過大なクリープ・乾燥収縮または活荷重の増大化を原因とする中央ヒンジ部のたわみ・角折れが発生し、それに付随して中央ヒンジ部の損傷による騒音・振動の発生が生じている。

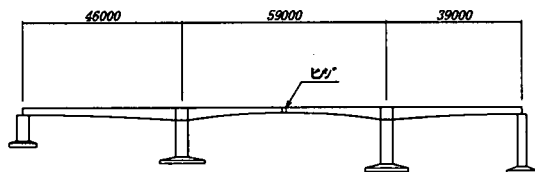


図-3.31 PC有ヒンジラーメン橋

(2) 損傷メカニズム

損傷要因の大きなものとしては、以下のものが考えられる。

- ① 過度のクリープ・乾燥収縮・温度応力など
- ② 構造上の弱点（ラーメンの隅角部には応力が集中する）

③ 設計上の不備

④ 自動車荷重の増大化

図-3.32に損傷と要因の関連図を示す。

a) RC構造連続ラーメン橋

過去に設計された橋梁において、ラーメン隅角部に十分な鉄筋量が配置されずに、もしくはハンチ形状が小さいためひび割れが生じた事例が多々見られる。

梁部下面に生じたひびわれについては、梁部と柱部を剛結しているラーメン構造特有の要因だけでなく他の構造形式における床版部のひびわれの要因との複合が考えられる。

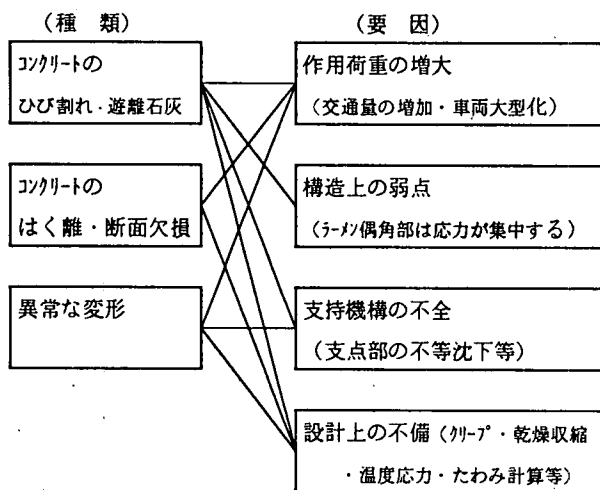


図-3.32 損傷の種類と要因

b) PC有ヒンジラーメン橋

PC有ヒンジラーメン橋においても、過去に設計された事例で、クリープ・乾燥収縮によるヒンジ部におけるたわみを十分検討することなく断面応力を重視した設計により過大なたわみが生じ中央ヒンジ部の損傷を起こしている例がある。

(3) 損傷度の評価と対策

a) RC構造ラーメン橋

RCラーメン構造における損傷は、柱と梁部を剛結していることにより拘束力が働き、クリープ・乾燥収縮・温度応力もしくは自動車荷重の増大化等によりひび割れが発生するものであるから、ひび割れ幅により耐久性を判定し、補修・補強の可否を判断する。

b) PC有ヒンジラーメン橋

PC有ヒンジラーメン橋のクリープ・乾燥収縮等によるたわみをできるだけ減少させるためには、中央ヒンジ付近の応力分布が長方形となるようなプレストレスを導入すること、および圧縮側にも十分に鉄筋を入れることを検討するのがよい。また支間中央部の桁高を支間の1/40程度以上確保しておくことも効果的である。²²⁾

図-3.33に有ヒンジラーメン橋の補強設計フローチャートの一例を示す。

(4) 補修・補強対策

RC構造連続ラーメン橋に見られる梁部下面および隅角部に生じるひび割れについては、軽微なものであれば樹脂注入工法が、進行が進んでいるものであれば増し厚工法、鋼板接着・FRP接着工法などが考えられる。以上についてはRC構造連続ラーメン橋の床版部に対する補修・補強であり、損傷要因(構造上働く不静定力と繰り返し荷重)は異なるものの床版の補修・補強工法に準拠するものである。

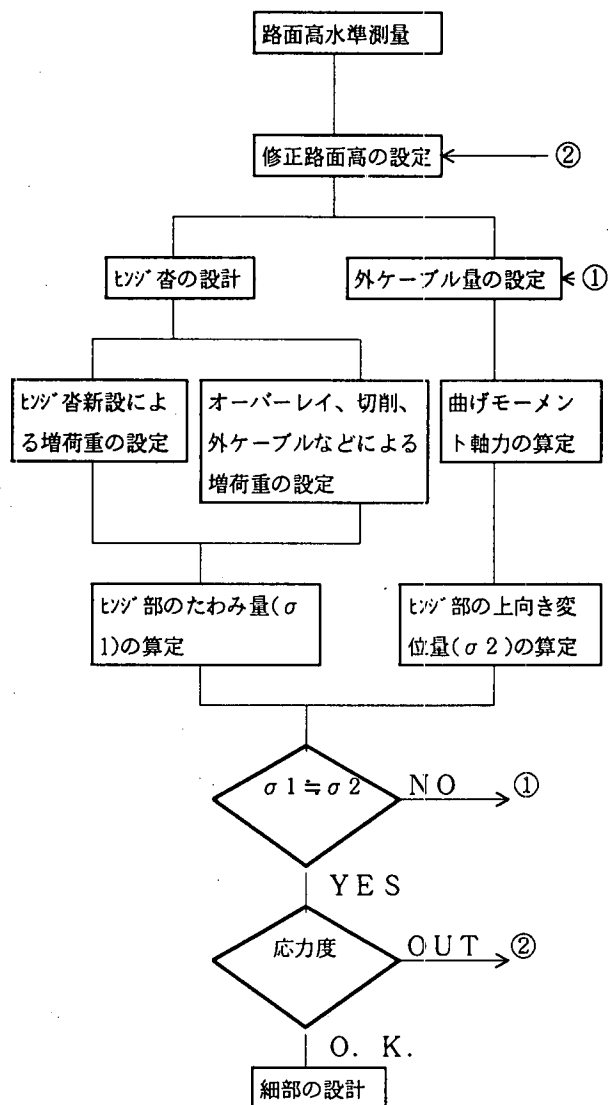


図-3.33 有ヒンジラーメン橋の補強設計フローチャート

詳細は3.3.1一般を参照されたい。

ラーメン構造特有の不静定力、クリープ・乾燥収縮によるたわみ増加等に対する耐荷力増強の補修・補強工法としては、PC外ケーブル工法が考えられる。

PC有ヒンジラーメン橋においては、クリープ・乾燥収縮等によるヒンジ部のたわみ増加が生じ、中央ヒンジ部の損傷に伴う騒音振動が発生している。さらなる沈下の抑制対策として外ケーブルの設置を行う事例が見られる。

a) RC構造連続ラーメン

図-3.34に示すのはRCラーメン橋脚梁部の補強事例である。耐荷力向上を目的としてPC外ケーブル方式を採用している。

b) PC有ヒンジラーメン橋

図-3.35に示すのは、ヒンジ沓の損傷により新設沓の設置ならびに補修工事時およびその後の死荷重増による沈下の抑制対策として、外ケーブルの設置

行ったPC有ヒンジラーメン橋の例である。

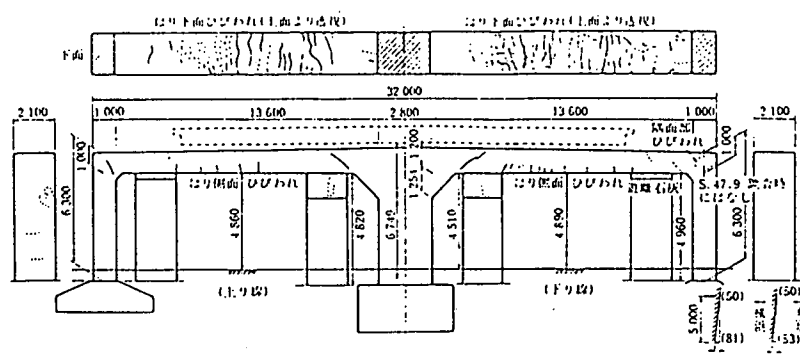


図-5 ひびわれ状況図

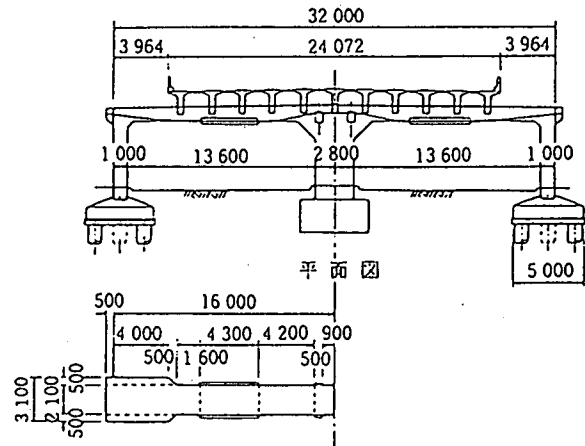


図-6 補強概要図

図-3.34 RC構造連続ラーメンの補修事例²⁸⁾

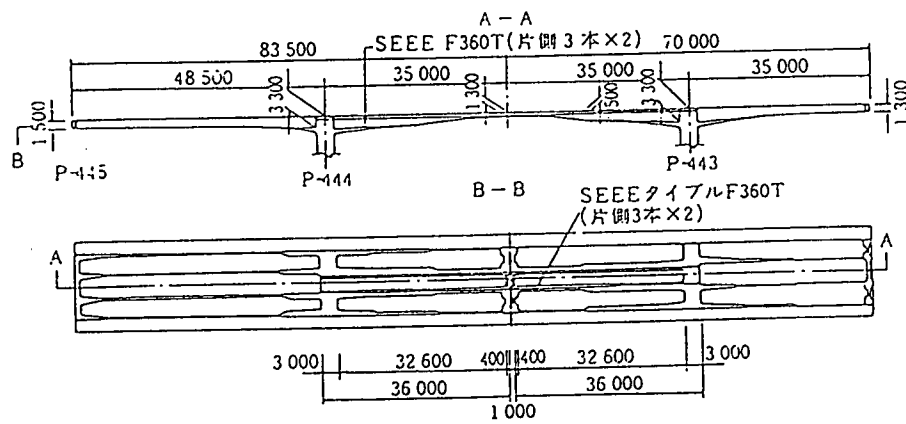


図 2.37 外ケーブル配置図

図-3.35 有ヒンジラーメン橋の補修事例²⁹⁾

3.3.5 鋼橋RC床版

前項まではコンクリート橋特有の損傷が議論されてきたが、ここでは、鋼主桁の上に配置される鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版と略記する）について述べる。

RC床版は、橋梁路面の舗装の下にあって輪荷重を直接支持し、輪荷重を主桁へ伝達するためきわめて重要な部材であるが、輪荷重が直接作用するために劣化・損傷を受けやすい部材でもある。

わが国の戦後復興から高度成長期にかけての橋梁計画は、限られた財源の中でなるべく多くの橋梁を建設することを目的としており、経済設計が優先されていた。このため、死荷重として作用するRC床版をなるべく軽量化すること、すなわち薄くすることが経済性につながるようになった。昭和39年に制定された鋼道路橋示方書と最近の道路橋示方書（平成6年）とを比べると、最小床版厚、設計曲げモーメントの算定式、鉄筋の許容応力度などの諸規定が大幅に異なっていることがわかる。床版に関する規定は、昭和39年の制定から何度かの改訂を経て、昭和53年の建設省通達でその骨格が定まったものである。それ以降の改訂では、設計輪荷重が8トン（重

要路線では、 $P=1.2 \times 8.0=9.6$ トン）から10トンに変更された以外は、大幅な変更は見られない。

したがって、昭和53年の建設省通達以降に設計されたRC床版については、その損傷事例を聞くことは少ないが、それ以前の示方書に基づいて設計されたRC床版の損傷の事例が多いことがうなずける。

(1) 損傷事例

昭和40年代の中頃から、RC床版の損傷事例が報告されるようになった。近畿地方では、昭和47年の阪神高速道路大阪堺線および大阪守口線で、橋梁完成後数年しか経過していない橋梁において、RC床版が突如陥没するという事故が発生した（写真-3.23、3.24参照）。

(2) 損傷メカニズム

この床版陥没事故を契機として、阪神高速道路公団等は、20年以上にわたる調査研究を進めてきた。その研究成果^{29, 31)}によって、現在ではRC床版の損傷メカニズムがほぼ解明されたといえよう。この調査研究においては、輪荷重走行試験機（図-3.36、写真-3.25）の導入が契機となって、研究成果が大幅に進歩した経緯がある。従来の押し抜きせん断試験や、定点での疲労試験では、RC床版の損傷を再

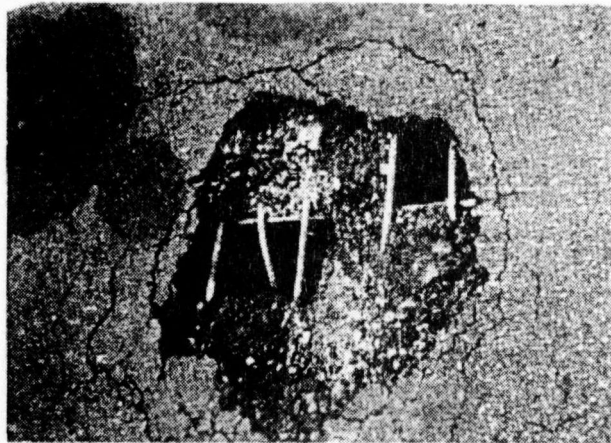


写真-3.23 RC床版の陥没（路面）³¹⁾

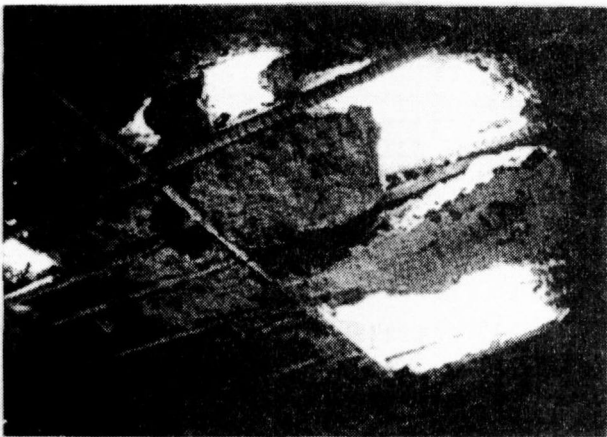


写真-3.24 RC床版の陥没（下面）³¹⁾

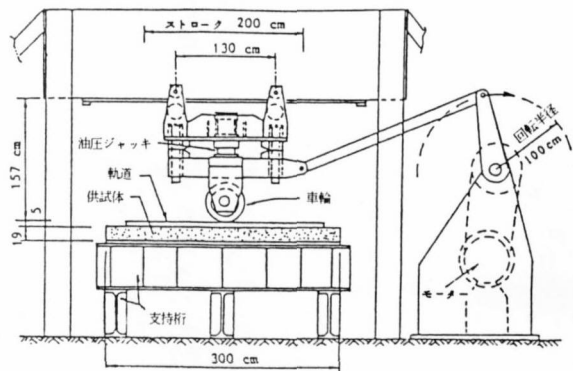


図-3.36 輪荷重走行試験機³¹⁾

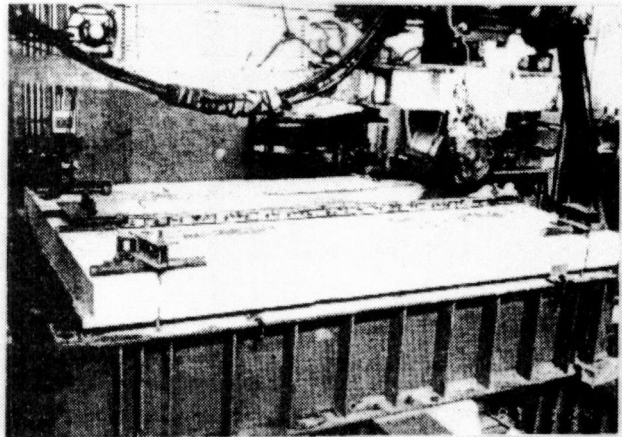


写真-3.25 輪荷重走行試験機³¹⁾

現することができなかったが、この輪荷重走行試験機を用いることで、実際の損傷を人為的に再現することができたのである³⁰⁾。

RC床版の損傷については、参考文献^{29, 31)}に詳しく述べられているので、より詳細な事項については、それを参照されたい。

RC床版の損傷経過は、一般に図-3.37に示すように4段階に分類されて説明されている。

1) 1方向ひび割れの発生

一般に、RC床版は鋼主桁に固定されているため、コンクリートの乾燥収縮や温度変化による収縮が拘束され、コンクリート内部に引張応力が発生することになる。一方、RC床版に輪荷重が載荷されると、床版下面では曲げによる引張応力が生じるが、これと先の収縮拘束による引張応力が合成されて、大きな引張応力に達する。とくに、昭和40年代の規定では、配力筋の最小鉄筋量が極端に少なく、ひび割れは配力筋の直角方向、すなわち主鉄筋方向に生じることになる。

2) 2方向のひび割れへの進展

主鉄筋方向のひび割れが発生すると、配力筋方向の曲げ剛性が極端に低下し、床版は等方性版から異方性版へと変化する。そのため、配力筋方向に負担率は低下するものの、主鉄筋方向の負担率が增大して、主鉄筋に作用する引張応力が増加するとともに、配力筋方向にもひび割れが発生することになる。そのため、主鉄筋方向のみの1方向ひび割れが、配力筋方向を含む2方向ひび割れに進展する。

3) 2方向ひび割れの発達と亀甲状化

主鉄筋方向と配力筋方向に生じた2方向ひび割れは、床版のせん断およびねじりせん断剛性を低下させ、損傷の度合いを深めていく。早期に生じたひび割れが進展していくに伴って、それらの中間部にも新たなひび割れが進展し、ひび割れが亀甲状化していく。さらに、輪荷重の繰り返し作用を受けて、ひび割れの幅、長さ、深さを増し、同時にねじりモーメントの作用や乾燥収縮の影響によって、床版上面にもひび割れが発生する。

この床版の上下面に発生したひび割れが連続すると、床版を貫通することになり、床版上面からの水が浸透し、やがて遊離石灰が下面から漏出することになる。

4) コンクリートの剥離と陥没

ひび割れ表面の劣化がさらに進行すると、コンクリートの剥離や陥没が生じる。この状態になると路面上にも放射状、あるいはクモの巣状のひび割れが生じていることが多くなる。陥没を生じた部分のコンクリートは有効に作用せず、鉄筋のみでコンクリ

ートの抜け落ちを防いでいる状態となる。コンクリートは圧縮部材としての機能を失い、鉄筋のみで輪荷重を支えることになる。この状態もある限度に達するとコンクリートは完全に抜け落ち、床版に穴があき、最終的な損傷となる。

RC床版の損傷には、コンクリートの中性化、塩害、アルカリ骨材反応などの原因によるものは少なく、主として、過大な輪荷重の作用とRC床版自体の耐力不足が原因とされている。

これらの損傷要因を詳細に検討すると以下のようである。

a) 過大な輪荷重が作用したこと

わが国では、高度成長期に道路輸送量が急激に増大し、車両の大型化が進み、さらに、交通量自体も大幅に増加した。そのため、設計当時に想定していた以上の荷重強度と繰返し回数が、床版に作用している。図-3.38と図-3.39は、阪神高速道路芦屋料金所で計測された車種別の車重および軸重の頻度分布図であるが、当時の設計荷重を大幅に上回る輪荷重が作用していることがわかる。

平成5年になって車両制限令が改正され、20トンから25トンに増加し、より一層の荷重増加が懸念さ

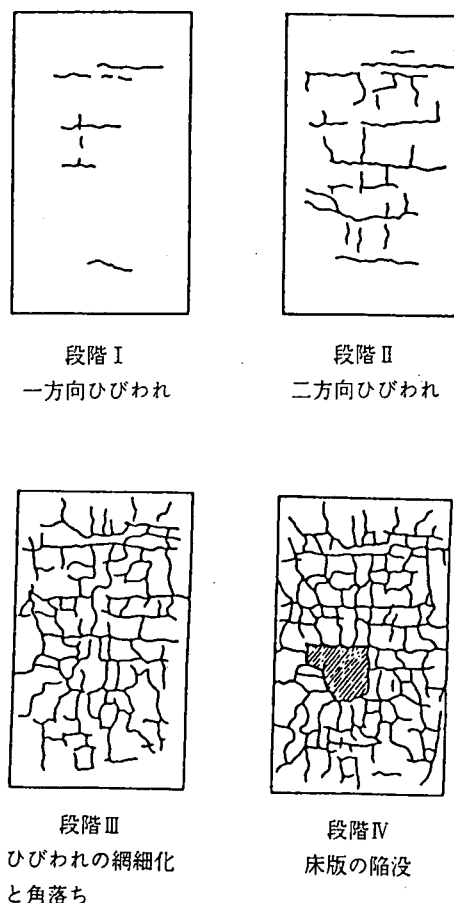


図-3.37 RC床版のひび割れ損傷過程³¹⁾

れた。しかし、改正に伴う過積載車両に対する取締まりも強化されたため、現実には荷重が減少するという皮肉な形で現れている。

b) RC床版の耐力が不足していたこと

鋼主桁の設計においては、RC床版は死荷重として作用することになり、経済設計という観点からは、このRC床版をできるだけ軽量化することが経済性につながることになる。そのため、道路橋示方書においても、最小床版厚および鉄筋量の規定が過小評価されてきた歴史がある。この道路橋示方書は、現在に至るまで何度かの改訂がなされているが、最小床版厚、設計モーメントの算出式、鉄筋の橋梁応力度の制限などの改正が行われ、当時のものより、厚く、強くなっている。

c) コンクリートの施工方法が変化したこと

昭和40年代頃から、RC床版にコンクリートポンプ打設が用いられることになった。コンクリートポンプを用いるためには一定のワーカビリティが必要であり、コンクリートの単位水量を増加させる傾向がある。また、単位水量の増加は、単位セメント量の増加にもつながり、コンクリートの自己収縮量を増加させることになった。

鋼主桁で拘束された薄いRC版部材が自己収縮す

れば、乾燥収縮によるひび割れが入りやすくなる。この当時の示方書では、主鉄筋に比べて配力筋が異様に少ない規定となっている。そのため、RC床版の乾燥収縮によるひび割れが、主鉄筋方向（橋軸直角方向）に入りやすくなる。このひび割れが進行すると、RC床版を短冊状に分割して、版から梁へとその構造が変化することになる。この状態に過大な輪荷重が作用すれば、配力筋方向にもひび割れが生じやすくなる。

d) その他

橋梁上部工の世界では、鋼とコンクリートの分離が高度に進められており、鋼部分は鋼の専門家、コンクリート部分はコンクリートの専門家という棲み分けが行われ、それぞれの分野で独自の技術開発が進められて来たという経緯がある。鋼橋のRC床版は、その両者の間にあるため、このことが、RC床版の劣化損傷の解明やその対策を遅らせていたとの指摘もある。今後は、鋼とコンクリートの両方に造詣の深い橋梁技術者、研究者が要求されることになる。

(3) 損傷度評価

RC床版の損傷と要因の項では、その劣化過程を4段階で説明しているが、現在までに実施されてき

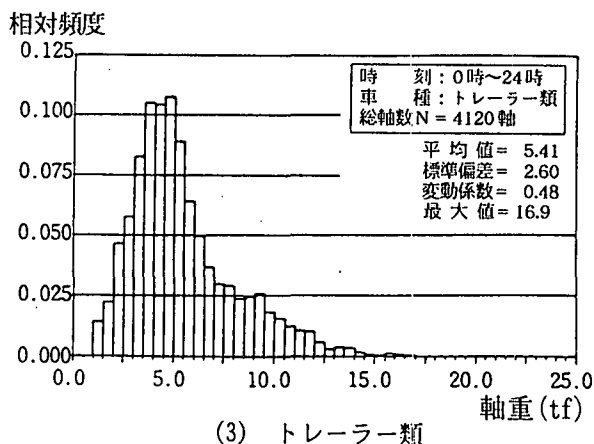
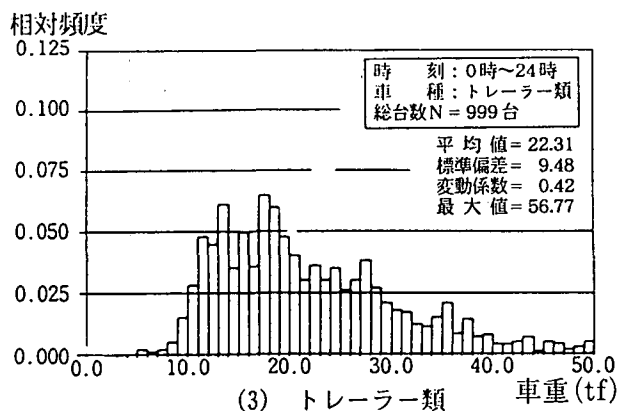
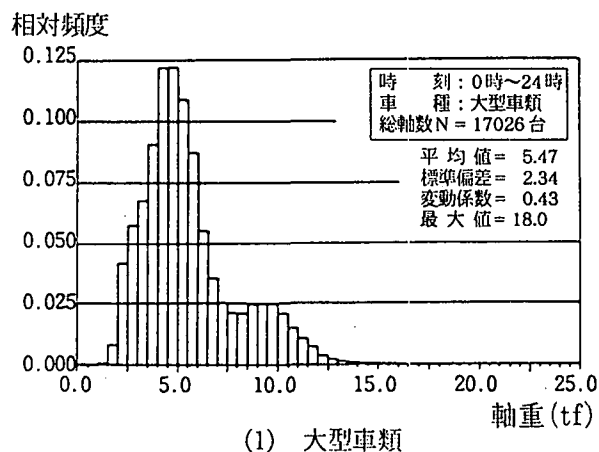
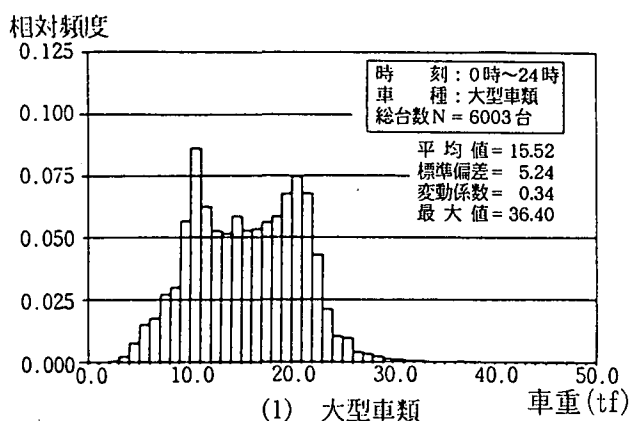


図-3.38 車種別重量の頻度分布³¹⁾

図-3.39 車種別軸重の頻度分布³¹⁾

た種々の損傷状況調査によれば、RC床版の劣化・損傷は、以下の6パターンに分類することができるようである。これらを、損傷レベルの軽微なものからより深刻なものへと並べ、その対策のポイントを示すと以下のようなものである。

1) 1方向のみのひび割れ(写真-3.38)

この段階での補強が最も効果的で、軽微な補強で済む。しかし、現実にはこの段階での補強対策を決定するのは難しい。

2) 直交する2方向のひび割れ(写真-3.39)

少なくともこの段階での補強であれば、その効果は大きい。また、床版下面からの補強も有効である。

3) 亀甲状のひび割れ(写真-3.40)

補強対策としては、床版耐荷力の回復とともに橋面の防水対策を施すのが好ましい。

4) 遊離石灰の漏出(写真-3.41)

輪荷重走行試験機での実験から、床版の劣化と橋面防水との関係が深いことが確認されている。この

段階での補強であれば、耐荷力の回復だけではなく、橋面の防水措置が必要となる。

5) ひび割れの角落ちとスリット化(写真-3.42)

この状態から床版の陥没に至るまでの時間は短く、速やかな対策が必要である。できるならば、床版の打換えや取替えが好ましいが、代替道路の確保などの問題がある場合には、陥没防止のための暫定処置を施し、できるだけ早い段階での対策が必要である。

6) 床版の抜落ち(写真-3.43)

RC床版の最終段階である。すでに補強対策はなく、打換えあるいは取替えが必要である。

(4) 補修・補強対策

RC床版の損傷要因のほとんどは、床版に作用する輪荷重の影響によるものであり、コンクリートの塩害・中性化やアルカリ骨材反応などによる損傷事例は多くはない。そのため、補修・補強対策では、耐荷力の回復もしくは向上を目的とする補強工法が取られることが多い。

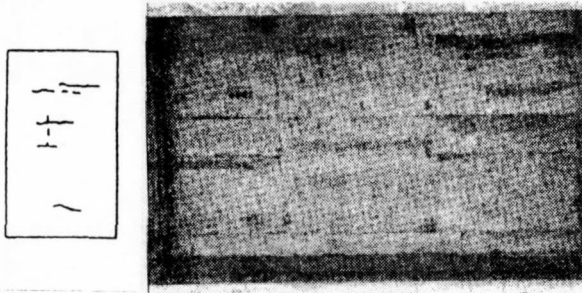


写真-3.38 1方向のみのひび割れ³¹⁾



写真-3.41 遊離石灰の漏出³¹⁾

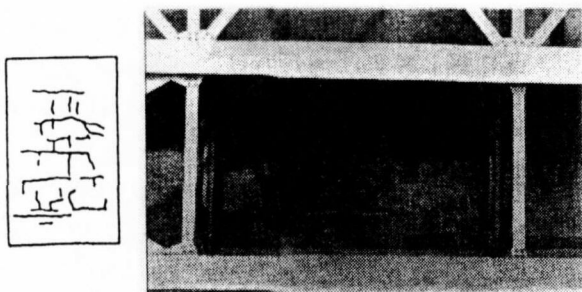


写真-3.39 直交2方向のひび割れ³¹⁾



写真-3.42 ひび割れの角落ちとスリット化³¹⁾

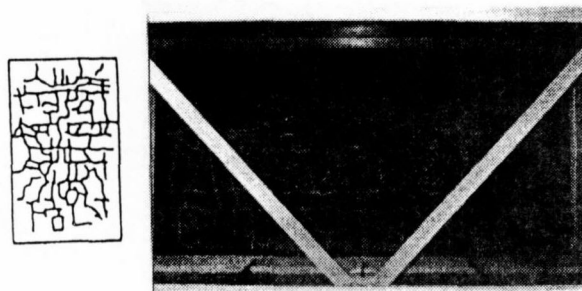


写真-3.40 亀甲状のひび割れ³¹⁾

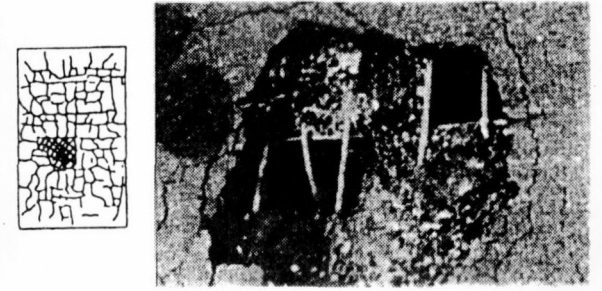


写真-3.43 RC床版の抜け落ち³¹⁾

現在用いられているRC床版補強工法には、以下の考え方に基づいて整理することができる。

- 床版の部材厚そのものを厚くする
- 床版に補強部材を追加する
- 床版の支持点を追加する
- 床版そのものを取り換える（究極の対策）

現在、RC床版の補強に用いられている工法を列挙し、その概要を示すと次のようである。

1) 増厚工法

この補強工法は、既設のRC床版の上面もしくは下面にコンクリートを打ち足して、抵抗断面を増加させて耐力力を回復・向上させるものである。

この補強工法では、既設コンクリートと増設コンクリートの確実な一体化を図ることと、薄い増設コンクリートの割れに対する強さが重要である。

上面増厚の場合（図-3.40）には、既設床版面を切削し、この上に鋼繊維補強コンクリートを増設する方法が一般的である。増設コンクリートに新たな補強鉄筋を配置する場合もある。

下面増厚の場合には、特殊なモルタルを用いてコテ仕上げあるいは吹き付け仕上げを行うが、既設床版との付着特性と増設モルタルの強度特性が重要となる。

疲労を含めた床版の耐力力を増加させるには、床版厚さを増大させることが有効であるが、その一方で、橋梁全体の死荷重重量を増加させることになり、主構や横構に対する負荷も増大することになる。そ

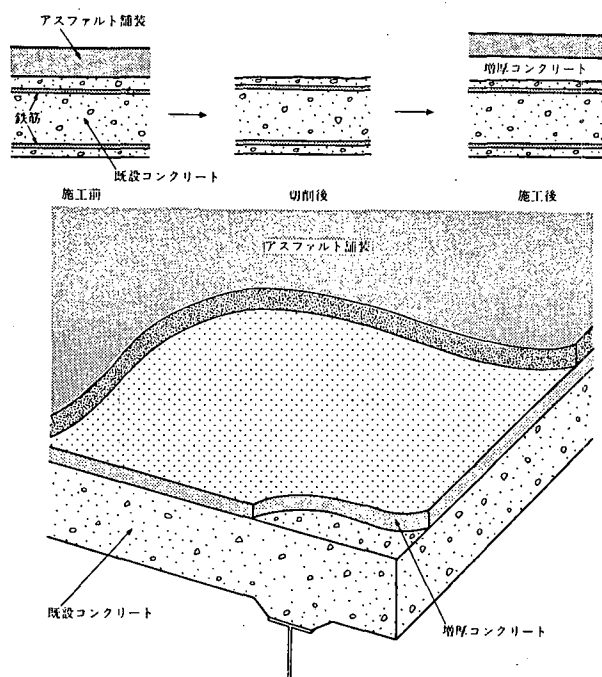


図-3.40 増厚工法（上面増厚の例）²⁾

のため、主構や横構に対する新たな補強が必要となる場合があると指摘する意見もある。しかし、床版を厚くすることは、むしろ橋梁全体の荷重分配特性を好転させ、活荷重による作用モーメントが低下するため、主構や横構に特別な補強は必要がないという意見もある。

2) 鋼板接着工法（図-3.41）

この補強工法は、既設RC床版の下面に、エポキシ樹脂などを用いて鋼板を接着させるもので、RC床版に接着した鋼板が、既設RC床版に対して鉄筋量を増加させたのと同様の効果が期待できる。

開発当初は、床版下面から鋼板に圧着力を作用させていたが、現在では、補強鋼板をアンカーで固定し、RC床版と鋼板の間にエポキシ樹脂などの接着剤を注入する方法が一般的である。

RC床版の損傷問題が提起された当初からの床版補強工法で、多くの施工実績がある。また、床版下面からアクセスすることができるので、路面交通を阻害することがない。

しかしながら、床版下面全体を鋼板で覆ってしまうために、床版の劣化進行を直接に目視確認できないという欠点も指摘されている。

3) FRP接着工法（図-3.42）

この補強工法は、既設のRC床版の下面に、炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維などの補強繊維を、高分子材料を用いて接着させる工法で、RC床版に接着した補強繊維が、既設のRC床版に対して鉄筋量を増加させたのと同様の効果が期待できる。

先の鋼板接着工法とよく似た工法であるが、補強繊維が鋼板に比べて軽いこと、接着作業が容易であること、床版下面での作業であるため路面交通を阻害することがないことなどから、新しい床版の補強工法として注目されている。

しかしながら、既設RC床版の劣化・損傷が激し

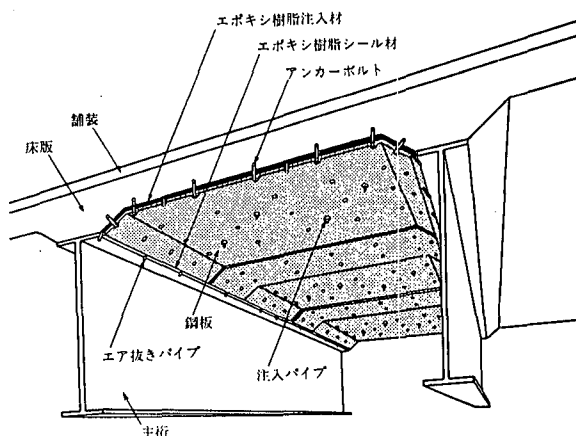


図-3.41 鋼板接着工法²⁾

い場合には、その適用が困難であり、また、全面に接着した場合には、コンクリートの劣化進行を直接に追跡調査することができないなどの問題点もある。

4) 縦桁増設工法 (図-3.43)

この補強工法は、RC床版を支持する既設の鋼主桁間に新たな縦桁を増設してRC床版を支持させ、床版支間を短縮して作用曲げモーメントを減少させるものである。

既設主桁の剛性と増設した縦桁の剛性が、著しく異なる場合には、その補強効果がほとんどなくなるので、増設する縦桁にはできるだけ剛性の高いものを用いることが必要である。さらに、縦桁を増設したために、対傾構を充腹横桁に変更したり、既設横桁の剛性を大きくする必要がある場合も多い。

RC床版を下面から補強する工法であり、路面交通を阻害することなく施工できる利点があるが、その一方で、重い縦桁を運搬、配置する必要があるため、施工性の高い工法とはいえない。また、その補強効果を疑問視する向きもあり、床版の陥没を防止するための暫定処置のひとつと考えられる。

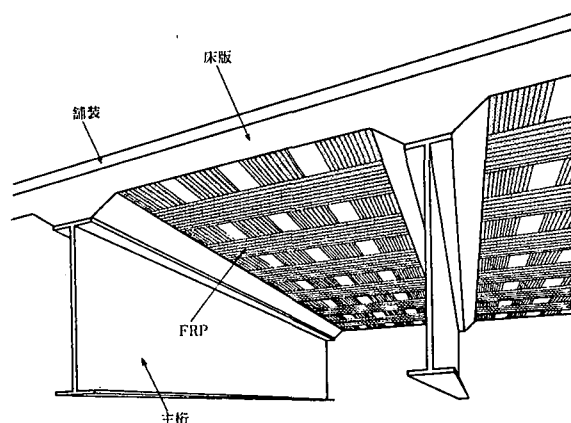


図-3.42 FRP接着工法²⁾

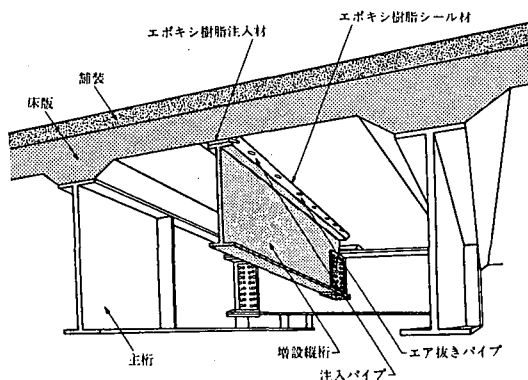


図-3.43 縦桁増設工法²⁾

5) 打換え工法 (図-3.44)

この補強工法は、劣化・損傷したRC床版の一部もしくは全部を新しいコンクリートで打ち換えたり、プレキャスト部材に交換することである。

ただし、既設RC床版断面の復元では耐荷性の回復はできるが、向上はできない。耐荷性を向上させるには、配置鉄筋量の大幅な増加や、鋼板接着、増厚工法との併用を考える必要がある。

また、橋梁上面からの作業が不可欠であるため、迂回路の設置あるいは交通規制が必要となる。施工期間をできるだけ短くするために、プレキャスト床版の利用も考えられている。また、同じ床版厚でより耐荷性の高いものを得るために、プレストレストコンクリート床版を用いることもある。

RC床版の補強対策の選定にあたっては、次の2点について検討する必要がある。

第1点は、床版の損傷度に応じた補強工法を選定することである。ここに挙げた補強工法は、実績のあるものだが、そのすべてがあらゆる損傷度に対応するものではない。RC床版の損傷度に応じた補強工法の選定が必要であり、その目安として表-3.14を示している。また、損傷度が低いほど、その補強効果が高いにも事実であり、なるべく早めの対応を行うことが、トータルとして経済性を満足することになる。RC床版の補修・補強の判定フローの例を図-3.45に示している。

第2点めは、橋梁路面の交通制限が可能か否かである。補強工法には、床版下面からアクセスできるものと、床版上面からしかアクセスできないものがある。橋梁は地域道路網の要点であるため、軽々にその交通を遮断するわけにはいかない。補強工事中の迂回路設置が可能か否か、あるいは夜間の交通制限が可能か否かなど、対象とする橋梁の特性に応じた選択が必要である。しかしながら、損傷レベルが

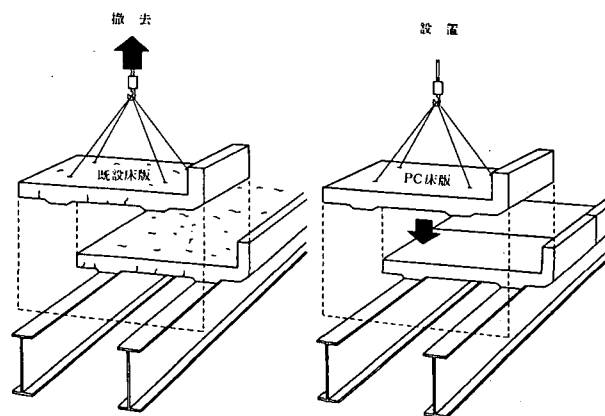
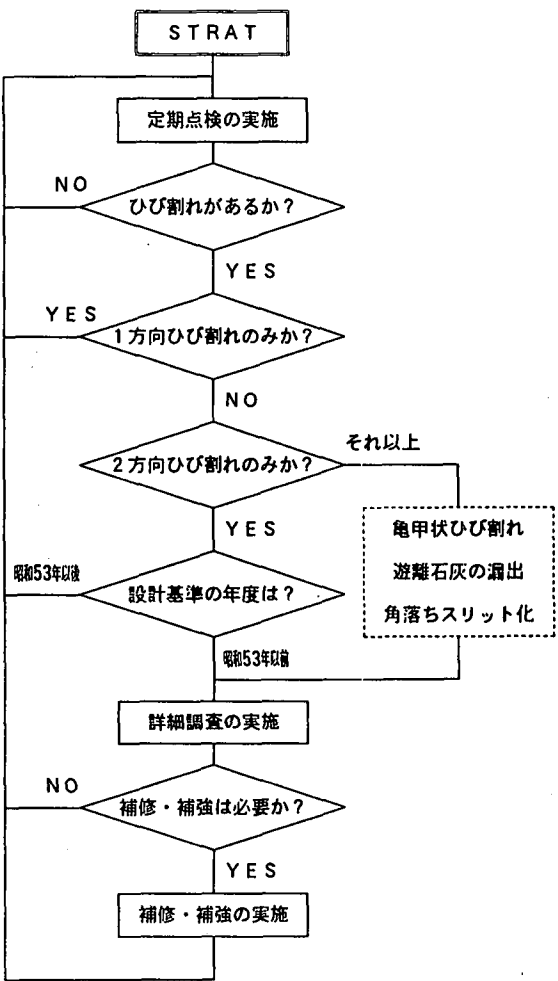


図-3.44 打換え工法（プレキャスト床版の例）²⁾

深刻な状態にあるにも関わらず，簡易な補強工法を選定することは，結果として高価なものにつくことが多い．特にこの点に留意することが大切である．

新設する構造物の設計において，維持管理上の配慮が必要であることは当然である．既設構造物の補強対策においても同様である．したがって，耐荷性に着目する補強工法の選定であっても，その耐久性の優劣や点検・調査の難易度を考慮した上で決定しなければならないことは当然である．



図一3.45 R C床版の補修・補強判定フローの例

表一3.14 R C床版の損傷度と補強対策の目安

損 傷 度	R C 床 版 の 損 傷 度						備 考
	1	2	3	4	5	6	
補強工法	1方向のみのひび割れ	直交2方向のひび割れ	亀 甲 状 のひび割れ	遊 離 石 灰 の 漏 出	角 落 ち と ス リ ッ ト 化	R C 床 版 の 抜 落 ち	
上面増厚工法							
下面増厚工法							
鋼板接着工法							
FRP接着工法							
縦桁増設工法							暫定処置
打 換 え 工 法							
橋 面 防 水 工							他工法との併用

3.3.6 地覆・高欄

道路橋の損傷事例として、前項までにおいて橋梁本体構造について述べてきたが、これら以外に比較的良好に見受けられる損傷部位として地覆・高欄が挙げられる。これらの部位は本体構造と比較して構造上あまり重要視されない部材であるが、美観上あるいは利用者に不安感を与えることなどから補修・補強の事例が多い部位である。

(1) 損傷事例

地覆部に見られる損傷事例の一部を以下に示す。

写真-3.44は鋼製高欄支柱の箱抜き部の隅角部を始点とするひび割れが進展し、その後の劣化により地覆部が欠落した事例である。写真-3.45は地覆に設置された開口部の補強筋不足などにより断面が欠落した事例である。写真-3.46は床版横締めめのグラウト不足等により横締め鋼材が破断した結果、地覆が損傷した事例である。写真-3.47は横締め定着部のコンクリートの締め固め不足によるものと思われる損傷事例である。写真-3.48は水切り部と床版部との打継ぎ目からの漏水した事例で、遊離石灰も見受けられる。 ²⁰⁾

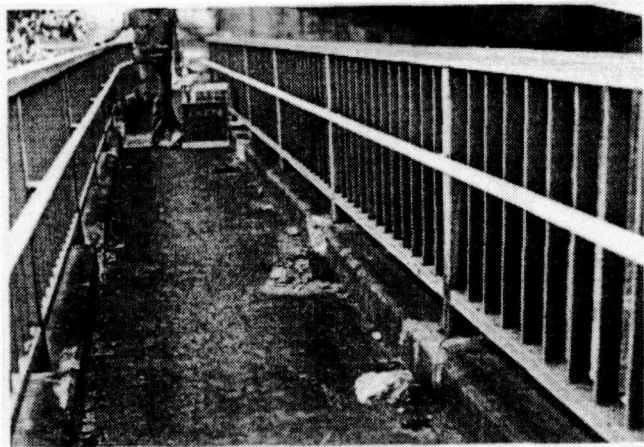


写真-3.44 鋼製高欄箱抜き部の損傷事例²⁰⁾

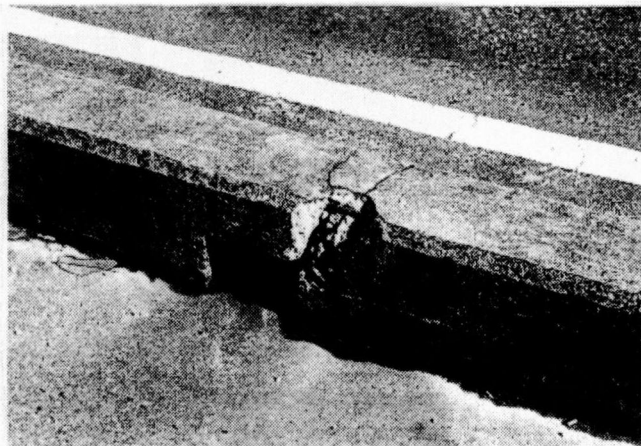


写真-3.45 地覆開口部の損傷事例²⁰⁾

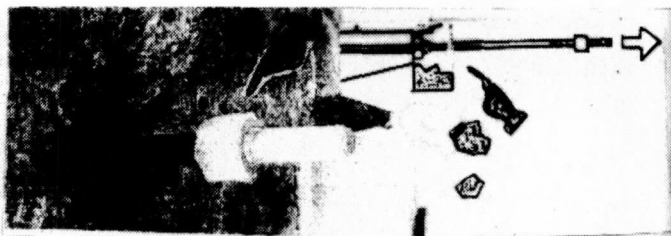


写真-3.46 床版横締め破断による損傷事例



写真-3.47 床版横締め定着部の損傷事例²⁰⁾

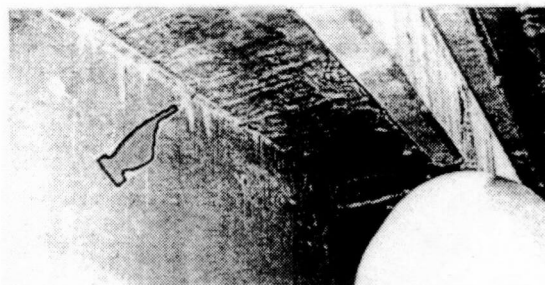


写真-3.48 水切り部の損傷事例

また、コンクリート製壁高欄も地覆と同様の要因による損傷が見受けられる。写真-3.49は高欄の表面に鉄筋が露出した事例である。 ²⁰⁾

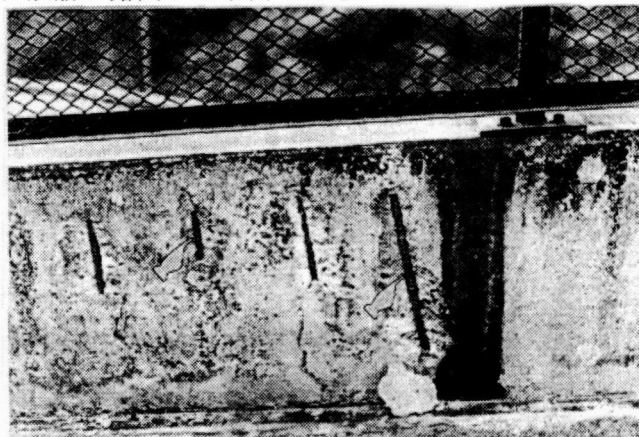


写真-3.49 壁高欄の損傷事例²⁰⁾

(2) 損傷メカニズム

地覆・高欄部の損傷要因としては、図-3.46の関連図に示すように、構造上の弱点、施工上の欠陥、気象・化学作用・材料等が挙げられる。

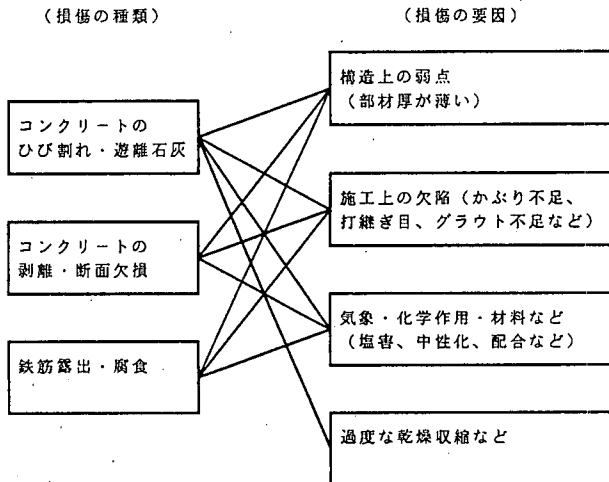


図-3.46 損傷の種類と要因

構造的には、地覆・高欄は部材が薄いことに起因することが考えられる。また、主桁の変形と比較して大きな変形が生ずること、あるいは橋体施工後に施工されることからコンクリートの材令差による乾燥収縮の差違によりひび割れが発生する場合がある。

施工的には、部材が薄く十分なかぶりが確保できない場合もあり、鉄筋の腐食が見受けられる場合もある。写真-3.46に示したように床版横締め用のP C鋼材のグラウト不良によりP C鋼材が破断し地覆部を破損した事例、あるいは横締め定着部の後埋め部のコンクリート充填不足による断面欠落などの事例もある。

その他、地覆・高欄は直接雨水や日照を受ける部位であること、あるいは凍結防止材の影響を受けることなどから他の部位に比較して損傷の進行が早い部位でもある。

(3) 損傷度の評価と対策

地覆・高欄は橋体と比較して、損傷により耐荷性が問題となる場合は少ないと考えられ、一般的には表面ひび割れの進展、鉄筋腐食の進行などを防止して耐久性の確保あるいは美観上から損傷度が評価される場合が多い。また一方では、地覆・壁高欄の損傷の進行に伴い、コンクリート片の欠落などが予想され、第三者への災害が予想される場合には早急に対策工を行う必要がある。

(4) 補修・補強対策

a) 損傷後の補強

損傷を受けた後の補修・補強対策の例としては、

以下のことが考えられる。

①雨水の浸透により、損傷が助長されることが多いため、図-3.47に示すように主桁と地覆の打継ぎ目への雨水の浸透を防止するための防水工を行うことも補修と耐久性の向上には効果的な対策である。

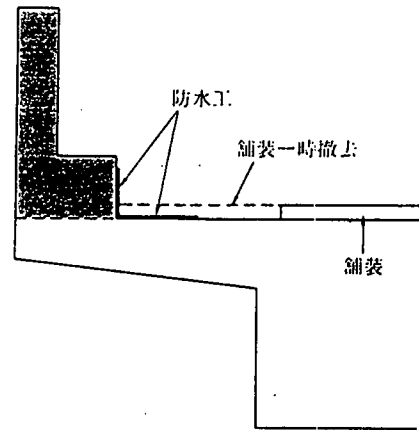


図-3.47 打ち継ぎ部の防水工²⁰⁾

②写真-3.49の事例のようにかぶり不足などから表面の鉄筋が露出して腐食している場合の損傷部の断面修復方法としては、鉄筋の錆を落とした後、錆止め材を塗布し、接着材を塗布した上でポリマーセメントによる断面修復を行い、コンクリート表面全体の防水塗装などが考えられる。

b) 事前の対策

先に示した、防水工の例などは施工時において実施しておくことにより、このような損傷を未然に防止したりすることが可能である。同様に、水切り部の劣化によるコンクリートの欠落を防止する方法として図-3.48示すように、十分なかぶりをとるとともに水切り部のコンクリートの欠落しにくい鉄筋の配置を設計段階から考慮することにより耐久性の向上、さらに第三者への災害防止が図れる方法である。

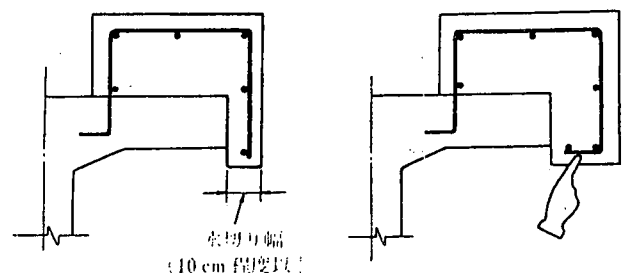


図-3.48 水切り部の鉄筋配置の改良例²⁰⁾

3. 4 まとめ

橋梁上部工におけるコンクリートに関するものとしては、RC橋（床版橋、桁橋）、PC橋（床版橋、T桁橋、箱桁橋）および鋼橋RC床版に大別される。

また、コンクリート橋の損傷は、ひび割れ、欠落、コンクリートの劣化、鉄筋あるいはPC鋼線に関連する腐食等がある。

これらコンクリート橋の損傷が、橋梁の耐久性・耐荷性に及ぼす影響は、橋梁の型式・その損傷の程度・発生している部位等によって異なる。

したがって、橋梁の補修・補強の検討を行う場合、損傷の橋梁に及ぼす影響を十分に検討し、補修・補強の要否、工法等を決定しなければならない。

3.4.1 評価・判定の現状

建設省土木研究所発刊の橋梁点検要領(案)によると、コンクリート部材の損傷に対する判定は、

- ① ひび割れ
- ② 剥離・鉄筋露出
- ③ 遊離石灰
- ④ 豆板・空洞
- ⑤ すりへり・浸食
- ⑥ 抜け落ち
- ⑦ 鋼板接着部の損傷
- ⑧ 床版ひび割れ

のそれぞれについて判定することとしている。

判定の方法は、表-3.15、3-16に示すように(1)位置あるいはパターン、(2)深さ、(3)拡がりの3項目について、それらの損傷が耐荷性、耐久性に与える影響の大・小により、損傷度1から損傷度4およびOKの5段階に区分することとしており、その損傷度の判定基準は以下となっている。

損傷度Ⅰ----損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある。

損傷度Ⅱ----損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある。

損傷度Ⅲ----損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。

損傷度Ⅳ----損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。

OK-----点検の結果から、損傷は認められない。

この要領(案)による事例として、「床版ひび割れ」について紹介する。

この点検判定手法によると、点検の内容、大・小の区分等が具体的に示されており、点検を行う技術者について、比較的短期間の講習等により、誰でもほぼ同様な判定を行うことが可能となる。

表-3.15 損傷の判定基準例

		損傷が耐荷力、耐久性に与えず影響		
		大	中	小
位置 あるいは パターン (X)	区 分	二方向ひび割れ		一方向ひび割れ
	具体的 事 例			
深 さ (Y)	区 分	錆汁を伴うひび割れ、またはひび割れ幅大	漏水を伴うひび割れ、またはひび割れ幅中	ひび割れのみで、ひび割れ幅小
	具体的 事 例	ひび割れに沿って鉄筋の錆汁が認められる。または幅0.3mm以上である。	ひび割れに沿って漏水や遊離石灰が発生。または幅0.3mm未満0.2mm以上である。	ひび割れのみ。また、幅0.2mm未満である。
拡 が り (Z)	区 分	ひび割れ最小間隔小		ひび割れ最小間隔大
	具体的 事 例	最小間隔50cm未満である		最小間隔50mm以上である

表-3.16 損傷の判定区分

X	Y	Z	全部材	X	Y	Z	全部材
大	大	大	Ⅱ	小	大	大	Ⅲ
		小	Ⅱ			小	Ⅲ
	中	大	Ⅱ		中	大	Ⅲ
		小	Ⅲ			小	Ⅳ
	小	大	Ⅲ		小	大	Ⅳ
		小	Ⅳ			小	Ⅳ

3.4.2 問題点の整理

(1) 橋梁点検の定常化と点検記録の整理

橋梁の補修・補強を検討するためには、損傷状況の把握が必要である。

特にコンクリート橋については、損傷の進捗の度合いを把握することが重要である。

そのため、橋梁点検を定期的に行うと共に、点検結果を整理し、ひびわれ等の損傷の進捗状況を容易に把握できるよう点検履歴の整理が必要である。

(2) 損傷原因の把握

橋梁の補修・補強工法の選定に当たっては、損傷原因を把握し、それに対応する工法としなければならない。

特にコンクリート橋については、その原因が工事の施工時の状況に起因している場合もあるので、これらの要因を含めて調査検討し、工法を決定する必要がある。

(3) 損傷程度の把握

橋梁の補修・補強工法の選定に当たっては、損傷の程度によって工法を選定する必要がある。

特にコンクリート橋については、ひび割れの深さコンクリート劣化の進行深さ等を把握し、適切な工法を選定しなければならない。

また、水・遊離石灰の滲みだし等のある場合は、補修・補強に併せて防水等の対策を講じることが重要である。

(4) 耐用期間の検討

橋梁の補修・補強工法の選定に当たっては、補修・補強後の橋梁の耐用期間を念頭において、工法の選定を行う必要がある。

(5) 2.5 T 荷重への対応

橋梁の補強を行う場合の設計荷重等は、現在の道路橋示方書により、設計することが望ましいが、コンクリート橋の場合、すべての仕様を満足するためには、非常に大規模な補修となり、架替えの方が経済的となる場合さえあるので、補強の範囲については、何に対してどの部分の補強を行うのか、十分に検討しなければならない。

3.4.3 今後の検討課題

(1) 損傷程度の把握手法の開発

コンクリートに係わるひび割れ深さ・劣化深さ・塩分浸透深さ等の損傷程度・P C 鋼線の錆の状況等を、診断する手法等の開発が必要である。

また、これらの診断手法については、非破壊で診断できる手法であることが望ましい。

(2) 耐用年数の推定手法の開発

コンクリート橋の損傷程度に対する耐用年数並びに補修・補強後の耐用年数について、これを推定することは極めて困難である。

主桁・床版等の部位によっても異なるが、落橋・破断等に至る段階の判定、耐用年数・各工法の効果持続年数等の、推定もしくは判定手法の開発が必要である。

(3) 新設時の配慮

橋梁の新設時において、将来の補修・補強を考慮した構造とすると共に、施工についても十分な配慮が必要である。

特にコンクリート橋については、P C 鋼線の腐食ゲルバーヒンジ部ひび割れのように、補修・補強の極めて困難なものが多い。

(4) 2.5 T 荷重への対応

車両制限令の改訂に伴う橋梁設計荷重の改訂については、現段階においては既に損傷が発生しており補強を必要とする橋梁について、2.5 T 荷重による設計がなされているところであるが、基本的には既存のすべての橋梁について、補強の必要性を検討し必要な補強を行うことが望ましい。

参考文献

- 1) 西川和廣：特集迫りくる再構築時代，日経コンストラクション，1996.12-13
- 2) 土木学会：コンクリート構造物の維持管理指針(案)，1995.10
- 3) (財)高速道路技術センター：橋梁の健全度評価及び補強方法に関する調査研究(その3)(その4)報告書，1990,1991
- 4) (財)道路保全技術センター・道路構造物保全研究会・計測診断部会報告書：各機関における橋梁点検・調査の現状と課題，1996.3
- 5) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひびわれ調査、補修・補強指針，1987.2
- 6) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書(Ⅲ)，1996.10
- 7) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の劣化および補修事例集，1996.10
- 8) 日本コンクリート工学協会：既存鉄筋コンクリート構造物の耐震補強ハンドブック、技報堂出版、1984.10
- 9) コンクリート構造物の補修ハンドブック編集委員会：コンクリート構造物の補修ハンドブック、技報堂出版、1978.11
- 10) 日本コンクリート工学協会近畿支部：土木コンクリート構造物の震災対策に関する調査研究委員会中間報告書，1995.12
- 11) 宮川豊章：土木コンクリート構造物の変状と補修・補強の考え方，コンクリート工学、Vol.31、No.7,1993.7
- 12) 宮川豊章：コンクリート構造物の耐久性上の問題点とその対策・塩害(その2.対策)、コンクリート工学、Vol.32、No.8,1994.8
- 13) 宮川ら：コンクリート構造物の診断と補修・メンテナンス AtoZ、技報堂出版、1995.7
- 14) P.H.エモンズ：イラストで見るコンクリート構造物の維持と補修、鹿島出版会、1995.9
- 15) ドイツ連邦交通省道路建設局：道路橋の補修・補強事例集、土木施工、Vol.36、No.5,1995.4(4月増刊号)
- 16) 大即ら：コンクリート構造物の耐久性シリーズ・塩害(I)、技報堂出版、1986.5
- 17) 小野ら：コンクリート構造物の耐久性シリーズ・アルカリ骨材反応、技報堂出版、1986.5
- 18) 日本道路協会：道路橋補修便覧，1979.2
- 19) 柳田ら：道路橋補修の設計・施工、山海堂，1982.12
- 20) 中部セメントコンクリート研究会：実例で見るPC橋の耐久性向上技術、理工学社、1992.11
- 21) (財)高速道路調査会：PC橋の耐久性向上に関する調査研究，1995.3
- 22) 日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，1994.2
- 23) 神山ら：PC桁断面急変部のせん断応力と補強，プレストレストコンクリート，Vol.17，No.4，1995.8
- 24) 今井ら：PCゲルバー桁橋ヒンジ部の構造と1設計計算法，橋梁と基礎，Vol.4，No.8，1970.8
- 25) 竹村ら：RCゲルバー桁橋ヒンジ部の補修および補強，Vol.18，No.12，1984.12
- 26) 縦山ら：高速道路におけるゲルバー橋の架替え計画—名神高速道路 石山高架橋—プレストレストコンクリート，Vol.37，No.6，1995
- 27) 道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編
- 28) 日本コンクリート工学協会：特集 補修・補強、コンクリート工学、Vol.31、No.7、1993.7
- 29) (財)阪神高速道路管理技術センター：損傷と補修事例にみる道路橋メンテナンス、山海堂、1993.3
- 30) 松井繁之，道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究，大阪大学博士論文，昭和59年11月
- 31) 阪神高速道路公団ほか：道路橋RC床版のひびわれ損傷と耐久性，1991.12