

7. 事故原因

事故の直接原因は、P Cケーブルの緊張時に生じたコンクリートの破壊である。

コンクリートの破壊については、P Cケーブル定着部が斜角のある橋梁の端部であることに起因して、同一平面ではなく階段状となっており、この定着部に対して応力集中に対する耐荷力不足から緊張力に抵抗しきれず、コンクリートの圧縮破壊が生じたものと判断する。

応力集中に対して耐荷力不足となった要因としては、支圧板から支圧力として作用する緊張力に対して十分な縁端距離が確保されなかったことが考えられる。このため、自由縁に近い部位のコンクリートに過度の圧縮応力に伴うひび割れの発生(正確な位置は特定できない)が生じ、その破壊によって抵抗可能な断面が失われることから破壊が拡大した可能性が大きい。

十分な縁端距離が確保されなかった原因としては、階段状の定着部に対して同一平面に配置する場合と同様の設計を準用するなど、本橋固有の応力条件に対する縁端距離の確保等の配慮がなされていなかったこと、加えて桁端部のコンクリート打設高についても、それが定着部のコンクリートの抵抗機構に影響を与えることについて考慮されていなかったことが挙げられる。

さらに支圧板背面に十分な補強筋が適切に配置されず、コンクリートが無筋状態であったことから、起点となったコンクリートの破壊が生じると同時に、定着部のコンクリートが脆性的に大きく破壊されたものと推定される。

十分な補強筋が配置されなかった原因としては、コンクリートにひび割れが生じた場合の破壊特性(脆性的な破壊の防止)に対する検討がなされなかったことによるものと考えられる。

以下に個別の事項を列挙する。

(1) コンクリート形状(縁端距離)

1) 定着部コンクリートの設計形状

本橋のP Cケーブル定着部は斜角に起因して階段状の切欠きが設けられている。このため、事故箇所の定着部は突起形状となっているが、この突起側面までの縁端距離が十分に確保されていない設計となっており、その設計に基づき施工がなされていた。

なお、突起側面を部材端とした場合、定着工法の基準に規定される最小縁端距離 $d(=180\text{mm})$ は確保されていないが、その適用条件は明確ではなく、類似の橋梁においても同様の事例が散見された。

2) 桁端部のコンクリート打設高不足

桁端部のコンクリート打設高が不足していたため、コンクリート上面までの縁端距離は設計値 280mm に対し、 142mm となり、定着工法の基準に規定される最小縁端距離 $e(=270\text{mm}=1.5\times 180\text{mm}$:突起側面を部材端として水平方向の最小縁端距離 d を 180mm とした場合、鉛直方向の最小縁端距離は $e=1.5\times d$ となる。)が確保されていなかった。

なお、型枠形状の工夫により、設計高までのコンクリート打設は可能であったと判断される。

(2) 補強筋の配置

1) 補強筋の設計

本橋のP Cケーブル定着部は斜角に起因して階段状の切欠きが設けられているが、これに対して設計上、十分な補強検討がなされずにグリッド筋・定着部補強筋

が配置されていた。

特に平面配置の検討がなされておらず、定着部詳細図上のグリッド筋、定着部補強筋を平面図上に配置すると、グリッド筋は躯体内からはみ出すこととなり、定着部補強筋は支圧板背面から相当な離隔が生じる設計となっていた。

なお、グリッド筋、定着部補強筋の設計計算は行われていないが、桁端部におけるPCケーブル定着部の設計においては、各定着工法の基準以外に明確な基準が無いことから、アンケート調査では一般的に設計計算を行っていない設計技術者が多かった。ただし、斜角が小さい場合は部材の中間における切欠き定着に準じた配筋を行うなどの配慮が望ましいとの意見も多くあった。

2) 補強筋の施工

上記 1) に関連して、グリッド筋、定着部補強筋は支圧板背面から相当な離隔が生じた状態で、かつグリッド筋は斜めに配置されていたと推定され、その結果、破壊したコンクリートは無筋状態であったと判断される。