

材料劣化の生じたコンクリート上部構造の性能評価に関する解析的研究

市民工学専攻：小柴陽平

指導教員：三木朋広

1. 研究背景と目的

PC 橋の損傷のうち、PC 桁間の現場打ちコンクリートのひび割れに起因する落下が問題視されている。その対策のひとつとして、銅板接着工法が用いられてきたが、適用から長期経過したこともあり、現時点で補強を実施していない径間の補強が急がれる。従来どおり銅板接着工法を用いるか、またその適用範囲の設定など、検討の余地がある。阪神高速が 2018 年に実施した落下径間の調査では、床版中央から下側の落下であったこと、PC 鋼材同士を結ぶような水平ひび割れの発生、PC 鋼材に沿った鉛直ひび割れの発生、一部では PC 鋼材およびシースの腐食・破断、主桁と間詰め部界面に肌隙を発生、一部で錆汁の漏出等が確認されている。この確認事項を踏まえて適切な対策を実施するために、現状の損傷状況を考慮した FEM 解析による検討を行う。本研究では、PC 桁上フランジと現場打ちコンクリート間の境界（接合部）に着目した解析を行った。

2. 解析モデル

図-1 と図-2 に解析モデルを示す。本研究では、2 次元解析において、4 節点アイソパラメトリック要素を用いた。また、インターフェイス要素の線形材料特性、非線形弾性特性のパラメータを変化させることで感度解析を試みた。PC 上部工全体系をモデル化した 3 次元解析では、2 次元解析によるインターフェイス要素の感度解析に基づき、実験結果を比較的精度よく再現できる設定条件を適用して解析を行った。

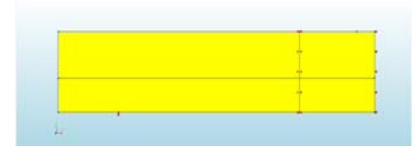


図-1 2次元モデル

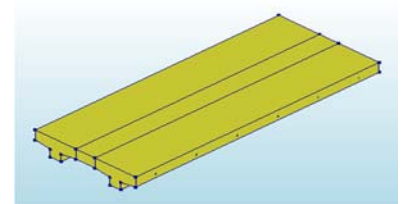


図-2 3次元モデル

3. 新旧コンクリート間の接合部をモデル化したインターフェイス要素に関する感度解析

前述のとおり、2 次元モデル上で、2 つの要素間の境界部に異なるパラメータであるインターフェイス要素の感度解析を行うことで、PC 桁上フランジと間詰め部のコンクリート間の境界部のより適切なモデル化を目指した。表-1 に解析ケースと解析結果を示す。また、図-3 に荷重－変位曲線、図-4 に解析結果の一例である case1 におけるインターフェイス要素の相対変位(法線方向)のコンター図を示す。

(1) 線形材料特性

Case 4 と Case 5 を比較すると、剛性を増加させた Case 5 ではインターフェイス要素の相対変位の項目が著しく低いという結果が得られた。荷重－変位曲線においても剛性の高い Case 5 のほうが中央たわみ 1 mm 時点での荷重が高くなることを確認した。

表-1 解析ケースと解析結果

線形材料特性[N/mm ³]			非線形弾性				インターフェイス要素							
			引張方向		せん断剛性		相対変位(法線方向)[mm]		相対変位(せん断方向)[mm]		力(法線方向)[N/mm ²]		力(せん断方向)[N/mm ²]	
	法線	せん断	低減開始時の相対変位[mm]	低減係数	低減開始時の相対変位[mm]	低減係数	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
Case0	境界、鉄筋の存在しない要素													
Case1	500	50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.67	-0.67	-2.78E-17	2.78E-17	3.33	-333.45	-1.39E-15	1.39E-15
Case2	50000	5000	0.01	0.01	0.01	0.01	0.35	-0.35	-1.39E-17	-1.39E-17	-1.77E+04	1.77E+02	-6.94E-14	6.94E-14
Case3	50000	5000	0.1	0.01	0.1	0.01	0.35	-0.35	-1.39E-17	-1.39E-17	-1.76E+02	3.28E+02	-6.94E-14	6.94E-14
Case4	50000	5000	0.1	1	0.1	1	0.24	-0.24	-1.39E-17	-1.39E-17	-1.21E+04	1.21E+04	-6.94E-14	6.94E-14
Case5	5000000	5000	0.1	1	0.1	1	-4.16E-03	4.16E-03	0	0	-2.08E+04	2.08E+04	0	0
Case6	50000	5000	0.1	0.01	0.1	1	0.35	-0.35	-1.39E-17	-1.39E-17	-1.76E+02	3.28E+02	-6.94E-14	6.94E-14
Case7	50000	5000	0.1	1	0.1	0.01	0.24	-0.24	-1.39E-17	-1.39E-17	-1.21E+04	1.21E+04	-6.94E-14	6.94E-14
Case8	50000	5000	0.03	0.01	0.03	0.01	0.35	-0.35	-1.39E-17	-1.39E-17	-1.77E+04	1.77E+02	-6.94E-14	6.94E-14
Case9	50000	5000	0.03	0.0001	0.03	0.0001	0.36	-0.36	-1.39E-17	-1.39E-17	-1.78E+04	3.36E+01	-6.94E-14	6.94E-18
Case10	50000	5000	0.05	0.01	0.05	0.01	0.35	-0.35	0	0	-1.77E+04	1.77E+02	0	0

キーワード：FEM 解析，インターフェイス要素，力学特性

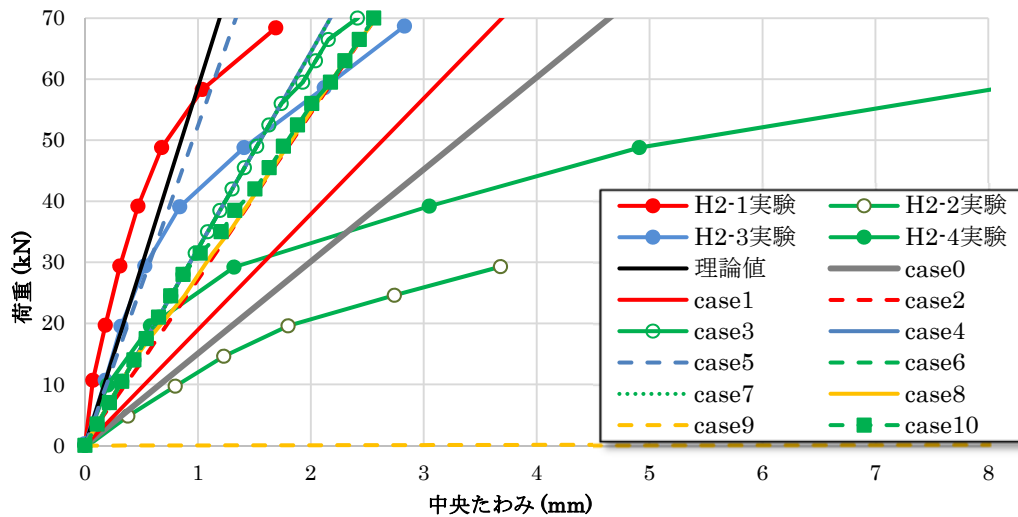


図-3 荷重－変位曲線

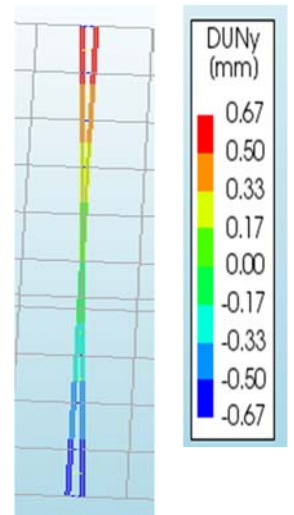


図-4 case1 相対変位
(法線方向)

(2) 非線形弾性(引張方向)

case3 と case7 を比較すると、インターフェイス要素の相対変位、応力に関しては法線、せん断とも case3 の値のほうが大きくなるのがわかる。

(3) 非線形弾性(せん断方向)

Case 3 と Case 6 を比較すると、インターフェイス要素の相対変位、応力に関してはほぼ一致していることがわかった。つまり、非線形弾性におけるせん断方向の影響は今回のモデルであればほぼ現れない可能性がある。

(4) 低減開始時の相対変位

Case 3, Case 8, Case 10 を比較すると、case8, case10, case3 の順に低減開始時の相対変位は大きくなっている。中央たわみ 1 mm あたりでは case8 の荷重が他ケースに比べ小さくなっているが中央たわみの増加に伴って荷重－変位曲線は重なるように遷移していった。このことから低減開始時の相対変位の項目を操作することで剛性低下の位置をある程度操作できることを確認した。一方で、インターフェイス要素のせん断方向の応力については case10 のみ 0 となっており、原因の追究が必要である。

4. PCT 桁と桁間の現場打ちコンクリートのひび割れならびに鋼板補強効果

図-2 に示す 3 次元モデルに感度解析した中でも特徴的なインターフェイス要素、case1, case10 を用いて解析を行った。2 次元モデルの解析ではコンクリートの物性を弾性に設定して解析を行ったが、3 次元モデルでは非線形に設定することでひび割れの影響を確認した。さらにプレストレス導入の有無、下面鋼板補強の有無の項目で解析を行った。

5. まとめ

本研究では、主に解析モデル、とりわけインターフェイス要素が機構に与える影響について検討し、実験結果と比較することでこのスケールにおいては適切であろうインターフェイス要素のパラメータを見出すことはできた。しかし、3 次元モデルにおいては各ケースの解析比較にとどまっており、全体挙動における接合部の挙動の影響を詳細に把握することは今後の課題として残る。