

曲げひび割れ発生と注入工法補修による鉄筋コンクリート梁の超音波速度変化

愛媛大学 フェロー ○森 伸一郎

愛媛大学 学生会員 長井 春希

愛媛大学 学生会員 三浦 夢乃

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物のひび割れには様々な補修工法がある．なかでも注入工法のみがひび割れそのものに樹脂系/セメント系の材料を注入・充填する工法である．注入工法の充填度合いを検証する方法が望まれている．ひび割れが生じると超音波速度（ultrasonic pulse velocity (UPV)）が低下することが知られているが，逆にひび割れ充填により速度回復が期待される．そこで，小型 RC 梁試験体を対象に曲げ载荷試験を行い，曲げひび割れが多数入った RC 梁に対して，IPH 工法と低压注入工法によりひび割れ補修工事を実施して，補修前後の超音波試験（ultrasonic testing (UT)）により UPV の変化を調べ，補修効果を検証する．

2. RC 梁試験体と実験方法

図-1 に RC 梁試験体（2 体，A と B）を示す．RC 梁試験体は，断面が 15 cm×20 cm，長さが 120 cm の寸法で，鉄筋は下側（引張側）主筋 D16 が 2 本，圧縮側組立筋φ6 が 2 本，75 mm 間隔で配置したあばら筋がφ6 である．支点間距離を 100 cm として，中央に载荷間隔 25 cm の 4 点载荷とし，曲げ载荷とした．圧縮強度が 72.9 N/mm²，静弾性係数 21.9 kN/mm²，ポアソン比 0.14 であった（3 供試体平均）．

85 kN で先に载荷した A 試験体にせん断ひび割れが生じたので，それを試験最大荷重とした．図-2 に試験体 A の最終载荷後のひび割れ分布図を示す．梁中央部が断面 8 と 9 の中間であるが，断面 4 から 12 までの間にほぼ線対称である．底面のひび割れはおおむね梁軸に直交しており，前面・背面で直立に近い曲げひび割れである．試験体 B は同様の方法で载荷したが，ひび割れの発生は試験体 A よりも本数は多いが微細であった．

载荷終了後の除荷時では A，B ともひび割れ幅は 0.2 mm 以下であった．損傷の大きい試験体 A は IPH 工法で，試験体 B は低压注入工法で同日（2 月 4 日）に施工した．本論文では紙面の制約から前者のみ述べる．

透過法により超音波試験を実施した．超音波試験には，ESI-10（東横エルメス製）を用いた．測定は各 3 回実施し，3 つの伝播時間の平均値より，超音波伝播速度を求めた．梁試験体の超音波試験の測線（鉛直 2～14，水平 L，M，U）を設け，鉛直・水平測線の交点にプローブを接着した．たとえば，測定 4M-4M は梁軸直交方向であり，測定 4M-5M は斜交方向（ $150/75=2=\tan(63.4^\circ)$ ）である．斜交方向は直交方向に生成・発達するであろう曲げひび割れを効率良く横切り，伝播速度が低下することを見込んだものである．補修後（2 月 9，10 日），水平測線 L，M，U のみ測定した．これらはそれぞれ高さ 200 mm の梁下面より 10，45，80 mm の高さである．測定時の気温は，補修前 A：20℃，B：20℃，補修後 A：20℃，B：18～22℃であった．

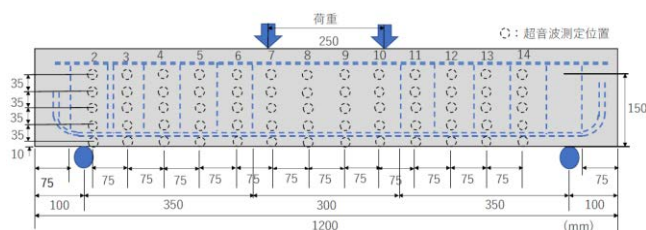


図-1 RC 梁試験体の構造と载荷試験条件

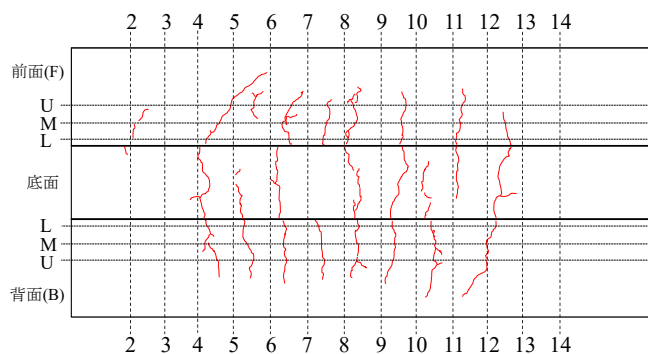


図-2 試験体 A の最終载荷後のひび割れ分布図

キーワード 鉄筋コンクリート，ひび割れ，超音波，注入工法，载荷試験

連絡先 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学 大学院理工学研究科 森 伸一郎 mori@ehime-u.ac.jp

3. 補修前後の2方向測定による超音波速度の変化

図-3 に試験体 A 測線 U の補修前後の直交・斜交 UT による超音波速度 (UPV) の分布を示す。载荷前に概ね 4.5 km/s であったが、補修前は、斜交 UPV は 4.16~4.33 km/s であった。直交 UPV は 4.17~4.48 km/s で、断面 5~8 や断面 12~13 付近では斜交 UPV と同程度である。一方、断面 4, 9~11 では斜交 UPV は直交 UPV より小さく、斜交の方がひび割れと交差することが多く直交より低下するためであると推察され、ひび割れを効率よく評価できていることを表している。プローブから最も近いひび割れまでの距離と UPV の関係を調べると、15 mm 未満で小さくなった。断面 4, 9 の補修前の直交測定で UPV が大きいのは、プローブ間の超音波伝播経路上にひび割れが未発達なためと推察する。

次に補修後であるが、直交 UPV は、4.42~4.53 km/s であり、補修により UPV が増加し、ばらつきが小さくなった。斜交 UPV は、4.37~4.52 km/s であり、UPV が増加した。測線 5-6, 6-7, 11-12, 12-13 では直交 UPV より 0.05 前後小さいが、それ以外では直交 UPV とほぼ同じである。すなわち、ひび割れにより直交 UPV より低い値を取る斜交 UPV であるが、IPH 工法による注入で直交方向と同程度になることから、ひび割れが充填されていることが検証できた。

測線 M でも同様の傾向であるが、測線 L では補修前で直交 UPV は 3.99~4.39 km/s、斜交 UPV は 3.96~4.27 km/s で、直交 UPV は 4.25~4.51 km/s、斜交 UPV は 4.04~4.41 km/s となり、補修前のみならず補修後でも断面毎のばらつきが大きい。これはひび割れ幅が大きいためである。

表-1 に試験体 A の RC 梁における UPV の平均値の変化を示す。U, M の測線では、増加量が直交より斜交の方が大きく、効果的に評価できていると考えられる。

図-4 に注入工補修の前後の UPV の関係 (上図：直交、下図：斜交) を示す。直交・斜交ともに、全ての測線において、補修前よりも補修後の方が UPV が大きくなっている。载荷前の UPV 約 4.5 km/s であるので、一部では初期値まで戻っている。直交方向では補修による向上効果にばらつきが小さいが、斜交方向ではばらつきが大きい。

4. 結論

曲げひび割れが入った鉄筋コンクリート梁に対して IPH 工法による注入工を行い、補修前後で透過法超音波試験を実施し、超音波速度 UPV の変化を調べ次の結論を得た。

(1) ひび割れによる超音波速度低下は、直交より斜交方向の方が大きく、斜交方向がひび割れ損傷を効果的に評価できる。(2)IPH 工法による補修により UPV は増加して、一部は初期値まで戻り、ひび割れが充填されたことが検証できた。

謝辞： 注入工事は IPH 工法協会の愛媛県内技術委員・技術指導員 (大野誠也氏他) にお世話になりました。

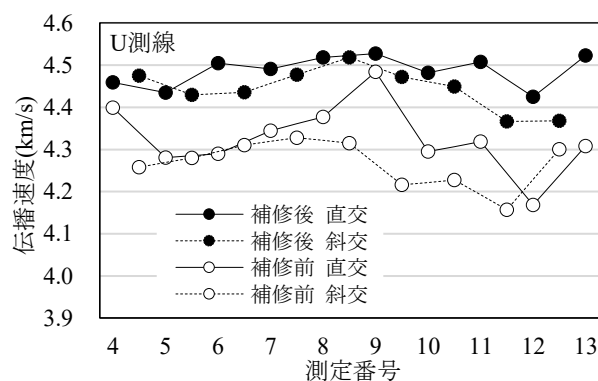


図-3 試験体 A 測線 U の補修前後の直交・斜交 UT による超音波速度 (UPV) の分

表-1 試験体 A の超音波速度 (平均値) の変化

測定位置	伝播方向	超音波速度(km/s)		
		補修前	補修後	増加量
U	直交	4.33	4.49	0.16
	斜交	4.27	4.44	0.18
M	直交	4.28	4.47	0.20
	斜交	4.20	4.45	0.26
L	直交	4.17	4.35	0.19
	斜交	4.09	4.27	0.17

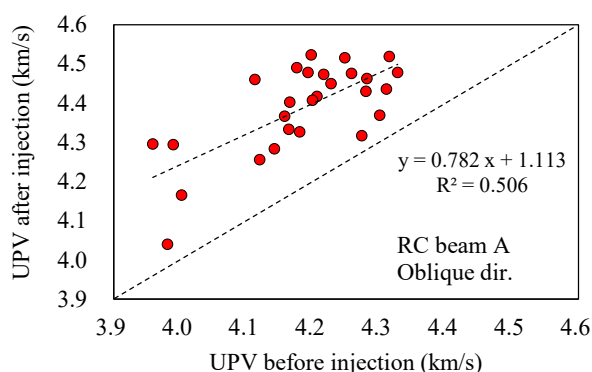
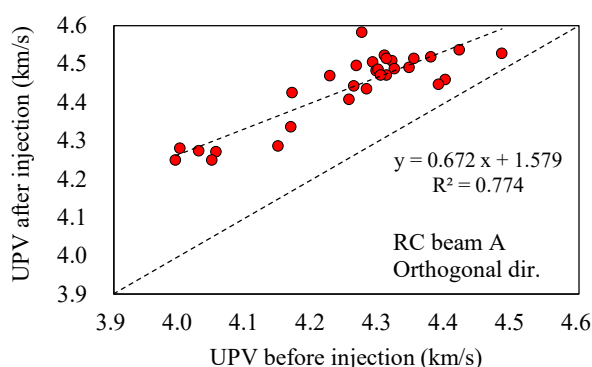


図-4 試験体 A 補修前後の超音波速度の変化 (上：直交方向，下：斜交方向)