

橋梁の種類

コンクリート橋



PC T桁橋



PC 箱桁橋



ラーメン高架橋

鋼橋



鋼単純桁橋



鋼箱桁橋



鋼I桁橋

橋梁の上部工・下部工



鋼連続桁橋 (複数径間)



橋梁上部工の構造 (RC床版および壁高欄)



下部工 (ラーメン式橋台)



下部工 (壁式橋脚)

※ PC = プレストレストコンクリート

写真で見るコンクリート 2

橋梁の種類	地震による損傷(土木構造物)
橋梁の上部工・下部工	地震による損傷(建築構造物)
PC橋と外ケーブル工法	橋脚の補強
初期欠陥	床版の下面増厚工法
ひび割れ	再アルカリ化工法・中性化試験
アルカリシリカ反応・中性化	脱塩工法・コンクリート強度試験・鉄筋探査
塩害	ソフトコアリングによるコンクリート強度の推定
凍害・溶出・温度変化による目地の劣化	

シノダ・レジюме 21

1. 変状と劣化の機構 22

1-1 初期欠陥	1-5 塩害
1-2 ひび割れ	1-6 アルカリシリカ反応、凍害、水掛かり
1-3 鉄筋コンクリート(RC)梁	1-7 化学的腐食と疲労
1-4 中性化	1-8 溶出・摩耗と火災

2. 調査 38

2-1 規格・基準等	2-6 鉄筋腐食の判定
2-2 コンクリートの圧縮強度	2-7 コンクリートの配合推定・ASR調査方法
2-3 ひび割れ、はく離、空洞	2-8 セメント水和組織の微細構造
2-4 かぶり・埋設物	2-9 ASRの分析判断
2-5 中性化深さ・塩化物イオンの測定	2-10 疲労による損傷

3. 補修・補強 58

3-1 補修の目的・ひび割れ補修工法	3-4 補修・補強材料
3-2 補修工法	3-5 補強工法
3-3 電気化学的補修工法	

4. 構造物 72

4-1 トンネル
4-2 橋梁

厳選問題 83

一般問題 84

問 1 鉄筋コンクリート(RC)梁の挙動に関する4択問題
問 2 中性化速度に関する4択問題
問 3 中性化深さの測定に関する4択問題
問 4 フリーデル氏塩・中性化フロント現象に関する4択問題
問 5 アルカリシリカ反応鉱物に関する4択問題
問 6 アルカリシリカ反応に関する4択問題
問 7 凍害に関する4択問題
問 8 火害に関する4択問題
問 9 火害の判定に関する4択問題
問 10 コア強度に関する4択問題
問 11 反発硬度法の計算問題
問 12 自然電位に関する4択問題
問 13 調査・分析の4択問題
問 14 床版疲労に関する4択問題
問 15 補修材料(ポリマーセメントモルタル)に関する4択問題
問 16 補修・補強材料(繊維)に関する4択問題

計算問題 102

問 17 超音波法によるひび割れ深さの推定
問 18 衝撃弾性波法による空隙までの深さの測定
問 19 中性化深さの予測
問 20 塩化物イオン濃度の推定
問 21 鉄筋コンクリート梁の累積疲労損傷度の計算
問 22 外ケーブル工法による補強効果
問 23 ライフサイクルコスト(累積維持管理費用)の算出
問 24 ライフサイクルコスト(現在価値)の算出

計算問題のポイント 118

コンクリート診断士への取り組み 124

1 変状と劣化の機構

1-1 初期欠陥

主な初期欠陥を表に示す。強度不足（不適切な W/C、加水）、コールドジョイント、打継目不良、ジャンカ・空洞、かぶり不足・配筋不良などの初期欠陥は、塩分、水、空気などの腐食因子が容易に侵入し鉄筋腐食が進行する。

▼ 主な初期の欠陥 ▼

	原因	防止対策	補修方法
ジャンカ	コンクリート打込み時の材料分離、締固め不足、型枠の下端からのセメントペーストの漏れなどにより発生。主な発生箇所は、開口部下部や高柱等。	<ul style="list-style-type: none"> ワーカビリティの良好なコンクリートの使用。 十分な締固め。 打込み時の落下高さを 1.5m 以内程度にする。 	深さ 3cm 程度ならば、ポリマーセメントモルタル塗布。空洞がある場合は不良部分をはつり取りポリマーセメントモルタルで充填。
コールドジョイント	打重ねたコンクリートが一体化しないことにより発生。	<ul style="list-style-type: none"> 適切な打重ね時間となるための施工計画。 先打ちと後打ちコンクリートが一体化する十分な締固め。 	縁切れが明確に認められない場合はポリマーセメントモルタルの刷毛塗り。縁切れしているものは U カット工法で補修。
沈下ひび割れ	打込み後のコンクリートの沈下が鉄筋により妨げられ、鉄筋に沿って生じるひび割れ。	コンクリートが硬化する前にタンピング等によって取り除く。	施工時の対応が基本となる。
砂すじ	単位水量が大きくブリーディングの多いコンクリート、過度な締固め、打込み速度が速い等。	<ul style="list-style-type: none"> ワーカビリティの良好なコンクリートの使用。 透水性型枠の使用。 	構造上は問題ない。砂すじ部分をケレンしポリマーセメントペーストの刷毛塗りで美観回復可。
表面気泡	逆テーパなど傾斜を有する型枠面で打込み時に巻き込まれた空気泡。	<ul style="list-style-type: none"> 傾斜部に空気孔の設置。 打込み速度、締固め時間の管理等。 	気泡発生部へのポリマーセメントモルタルの充填。

表面の美観低下

エフロレッセンス：コンクリート中の可溶性成分が水分移動で表面に析出。主に CaCO₃、エフロレッセンス自体は構造物の耐荷力に問題ない。貫通ひび割れ、コールドジョイント部に発生し易い。これらを通してコンクリート表面に発生。錆汁が含まれていると、内部鉄筋の腐食を意味し耐久性に問題。

汚れ(変色)：埃や排気ガスに起因した黒色の付着物や“かび”の発生。真菌類が繁殖、死滅で黒い汚れ。

すりへり：水などのすり減り作用により、表面モルタル→粗骨材の露出→粗骨材のはく離の順に進む。



打継目不良



コールドジョイント



エフロレッセンス



すりへり



2

調査

2-1

規格・基準等

年代	社会・経済	規格・基準類
1950	50 建築基準法公布	50 ポルトランドセメント、高炉セメント、シリカセメントの JIS 制定、AE 剤の導入 53 生コンクリートの JIS 制定
1960	64 東京オリンピック 64 東海道新幹線開通	61 コンクリート用碎石の JIS 制定 64 鉄筋コンクリート用棒鋼の JIS 制定
1970	70 万国博覧会（大阪） 73 第一次オイルショック 75 山陽新幹線全線開通	70 コンクリートミキサの JIS 制定 71 PC 鋼材の JIS 制定 78 レディミクストコンクリートの JIS 改正
1980	83 塩害・アル骨問題の報道 84 コンクリートの早期劣化問題「コンクリートクライシス」報道 89 バブル景気	82 コンクリート用化学混和剤の JIS 制定 (AE 剤、減水剤、AE 減水剤)、86 生コン塩化物総量規制・アルカリ骨材反応抑制対策、ポルトランドセメント JIS に低アルカリセメント追加、87 コンクリート用化学混和剤 JIS に全アルカリ量と塩化物イオン量の規定が追加
1990	91 リサイクル法公布 95 兵庫県南部地震 99 新幹線・福岡トンネルでコンクリート塊の落下事故	92 JIS A 1804 アルカリシリカ反応性試験（迅速法）制定 95 高炉スラグ微粉末の JIS 制定、化学混和剤 JIS に高性能 AE 減水剤追加 97 ポルトランドセメントの JIS 改正（低熱を追加）
2000	03 ASR による鉄筋破断問題 05 耐震強度偽装事件 07 中越沖地震	00 シリカフェュームの JIS 制定、02 エコセメントの JIS 制定、03 国土交通省より通達「レディミクストコンクリートの品質確保について」単位水量の管理、05 コンクリート用再生骨材 H の JIS 制定
2010	11 東日本大震災 13 東京五輪 2020 開催決定 16 熊本・大分地震	12 再生骨材 M,L を用いたコンクリートの JIS 制定、13,16 スラグ骨材の環境規定の追加、14 JIS A 5308 に回収骨材の規定が追加、19 JIS A 5308 に呼び強度、スランプフロー等コンクリート種類が大幅増加
2020	20 コロナ禍	20 収縮低減剤の JIS 制定

コンクリートの主な出来事

その1：1953年（昭和28年）に JIS が制定され、当初は良質な骨材が供給されていた。コンクリートの劣化は、凍結融解が主であると考えられていた。

その2：1960年代の高度成長期から AE 減水剤が一般的に使用されるようになった。

その3：1984年「コンクリートクライシス」NHK 報道。半永久的でメンテナンスは不要と考えられていたコンクリートが社会問題化。これを受け、塩化物総量規制・アルカリ骨材反応抑制対策。

その4：1995年兵庫県南部地震による土木・建築構造物の倒壊。これを受け、耐震技術の整備。

その5：1999年山陽新幹線・福岡トンネルでコンクリート塊の落下事故。これを受け、2001年土木コンクリート構造物の品質確保、その運用に関する国交省通達。

MEMO

3

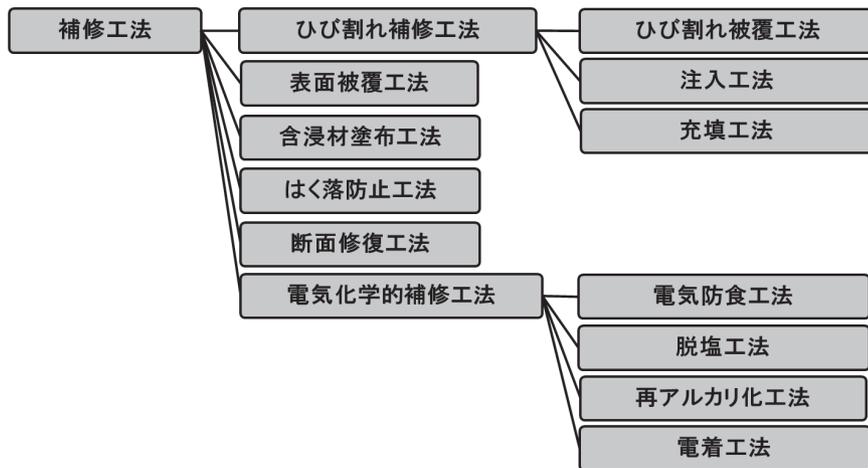
補修・補強

3-1 補修の目的・ひび割れ補修工法

(1) 補修の目的

耐久性の回復・向上。第三者影響度の低減。ひび割れ補修、断面修復、表面被覆、電気化学的補修等。劣化要因・劣化程度に応じた工法を選択する。

▼ 主な補修工法 ▼



MEMO

(2) ひび割れ補修工法

① **ひび割れ被覆工法**：微細なひび割れ（幅 0.2 mm 以下）ひび割れを被覆することにより防水性・耐久性を向上。塗膜弾性防水材やポリマーセメントなどを使用。環境条件に応じた材料の選定。

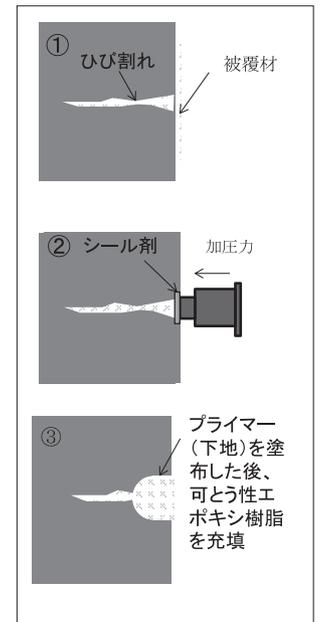
② **注入工法**：幅 0.2 ～ 1.0 mm のひび割れ

・ **高分子系（エポキシ樹脂やアクリル樹脂）**：ひび割れ間の一体性に優れているが、漏水や湿潤環境など水分が存在すると接着不良。エポキシは JIS で環境に応じて 12 タイプ。

・ **セメント系、ポリマーセメント系**：安価、熱膨張率がコンクリートに近い。湿潤状態が使用の基本条件。ひび割れが乾燥状態では閉塞するため不可。

③ **充填工法**：0.5 mm 以上の大きなひび割れ、鋼材腐食無し。Uカット（Vカット）を行い、ひび割れの動きがある場合、シーリング材（ウレタン樹脂やシリコン樹脂）、可とう性エポキシ樹脂を充填。ひび割れに動きがない場合、ポリマーセメントモルタルの使用。

▼ ひび割れ注入工法 ▼



MEMO

4

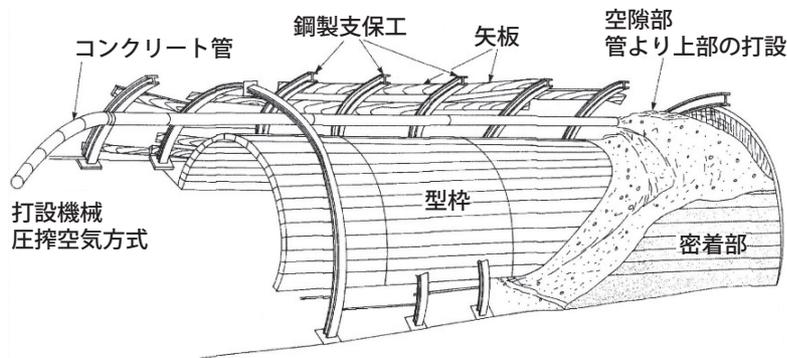
構造物

4-1 トンネル

トンネルは堅固な岩盤を掘削する山岳トンネルと軟弱な砂や粘土層を掘削する都市トンネルに分類されるが、ここでは比較の変状が多い山岳トンネルについて説明する。山岳トンネルの覆工の構築は1980年ごろまでの在来工法（矢板工法）とそれ以降主流になった NATM に分類される。

在来工法：鋼製支保工と矢板を使用し、上半と下半を分割する多重労働型の施工。覆工コンクリートは天端にコンクリート管を配管して引き抜きながら、1箇所からの吹込を実施。巻厚管理が徹底しておらず、巻厚不足や未充填が生じやすい。

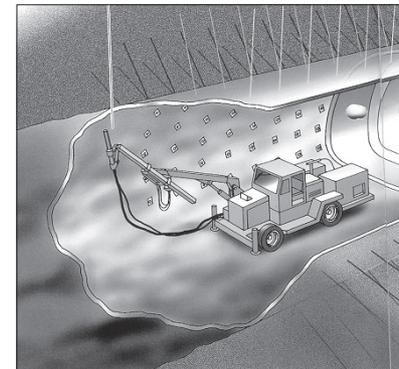
▼ 在来工法での覆工コンクリートの施工 ▼



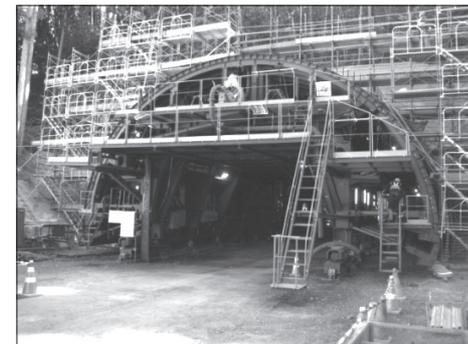
MEMO

NATM (New Austrian Tunneling Method)：NATM は1970年代に導入され吹付けコンクリートとロックボルトで地山を安定させた後、覆工コンクリートを打込み完成させる。側壁部は側面に設けられた複数の監視窓からコンクリートの打込みと締固めを行う。また、アーチ部は1箇所の吹上口からコンクリートを圧入して妻側まで流動させる。

当初は吹付けコンクリートと覆工コンクリートを一体化していたが、1980年代に裏面に防水シートを配置し、ひび割れ抑制や漏水防止を行っている。狭隘な空間での作業となる覆工コンクリートの打込みはコンクリートの横移動やアーチ部への圧入がコンクリートの耐久性を妨げているとの反省から、中流動コンクリートと型枠パイプレーターの組合せによるコンクリートの均質化、脱型後の湿潤養生の採用により品質向上が進んでいる。



NATM の吹付けコンクリートとロックボルト



覆工コンクリート用型枠 (移動式セントル)

問1 鉄筋コンクリート(RC)梁の挙動に関する4択問題

鉄筋コンクリート梁の載荷試験状況を図-1に示す。支点間がLでせん断スパン、等モーメント区間がそれぞれL/3とした。図-2に作用荷重(P)、支点間中央部のたわみ(δ)、ひび割れ発生荷重(P_c)、鉄筋降伏荷重(P_y)、終局荷重(P_u)の関係を示す。主鉄筋とスターラップが配置され、引張鉄筋比は釣合い鉄筋比以下の配筋となっている。(1)～(4)の記述で不適当なものはどれか。

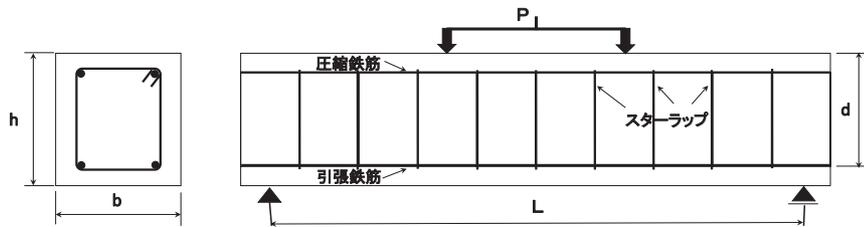


図-1 鉄筋コンクリート梁の断面、配筋および載荷状況

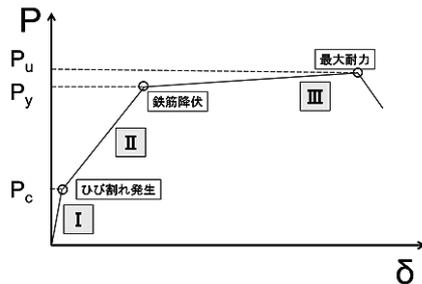


図-2 荷重(P)と梁中央部の変位(δ)の関係

- (1) P_cを大きくするには、コンクリートの圧縮強度が大きくなるのが有効である。
- (2) 領域IIは曲げひび割れが成長し、変形が増大する領域である。
- (3) P_yを大きくするには、釣合い鉄筋以下で、引張鉄筋を増やすのが有効である。
- (4) 領域IIIは引張鉄筋比が降伏して変形が増大する領域で、スターラップの配筋の影響を受けない。

【解説】(1) 荷重が作用し、引張縁の応力が曲げ引張強度に達すると、ひび割れが発生する。この曲げ引張強度はコンクリート圧縮強度に依存するため、適当。(2) 領域IIは、曲げひび割れが成長し剛性が低下する領域である。曲げひび割れの数が増し、高さ方向に中立軸付近まで伸びる。せん断スパンにおいては斜めひび割れ(せん断ひび割れ)が発生することから、適当。(3) 鉄筋が降伏する曲げモーメントMyは下記の式で与えられる。使用する鉄筋の降伏強度と断面形状が同一であれば、適当。

$$M_y = A_s(\text{鉄筋量}) \cdot f_y(\text{鉄筋の降伏強度}) \cdot jd(\text{応力間中心距離})$$

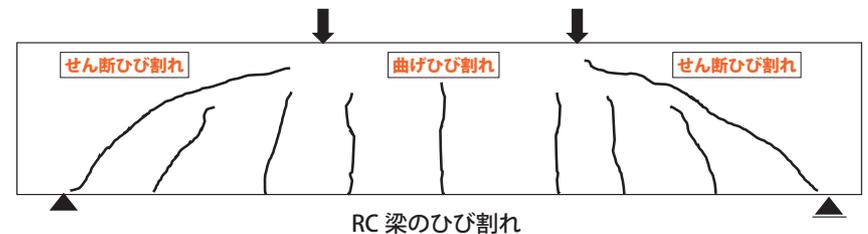
(4) スターラップの量が小さいと、急激なせん断破壊が生じる。また、スターラップは、圧縮側鉄筋を内側に配置し、鉄筋の座屈を拘束する。そのため、変形が増大する領域で、有効な拘束効果を発揮するために、不適当な記述である。 **【正解】**(4)

RC梁の要点整理

RC梁は、図-1に示すように、引張鉄筋と圧縮鉄筋の主鉄筋とスターラップが配置されている。主鉄筋が引張力や圧縮力を、またスターラップがせん断力を負担し、断面力に抵抗するように設計される。

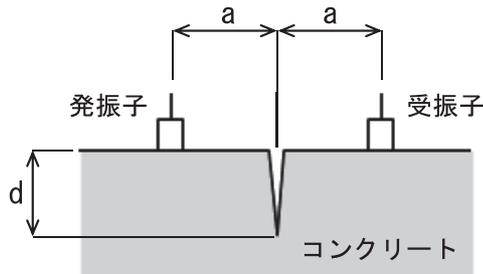
このRC梁は荷重が作用すると、図-2に示すP～δ関係となる。**I**はひび割れが発生するまでの大きな剛性を有し、変形が小さい。**II**は曲げひび割れ発生後の剛性が低下する領域である。下図の通り、曲げモーメントが一定となる等モーメント区間には鉛直方向の曲げひび割れが卓越する。せん断スパンには斜めひび割れが発生する。**III**は主鉄筋降伏後の領域である。**RC部材は、鉄筋降伏後も大変形をすることで、優れた耐震性を有する構造部材となる。**この条件を満足するために、**釣合い鉄筋比とスターラップ**を理解することが重要となる。

RC部材は、圧縮側のコンクリートが圧壊する前に、引張鉄筋が降伏応力に達する**釣合い鉄筋比**以下に設計される。釣合い鉄筋比以上に引張鉄筋比が配置されると、P_y前に最大耐力に達し破壊するため、**IIの領域で脆性的な破壊が生じる**。また、**スターラップ**はせん断破壊が生じることのないように、適切な量が配置される。スターラップの量が小さいと、せん断スパンで斜めひび割れが成長して、急激なせん断破壊が生じる。



問17 超音波法によるひび割れ深さの推定

下図に示すように、コンクリートのひび割れ深さを超音波法により推定する。コンクリート中の超音波伝播速度 V は 4000m/sec で、発振子および受振子からひび割れまでの距離 a が 150mm 、超音波の伝播時間 t は $125\mu\text{sec}$ であった。ひび割れ深さ d の推定値を求めよ。



【ひび割れ深さの測定原理】

①図-1に示すように、ひび割れを挟んで同じ距離 (a) の位置に超音波の発振子と受振子を取り付ける。そして、発振子から発振した超音波が受診子に到達するまでの伝播時間 t を測定する。

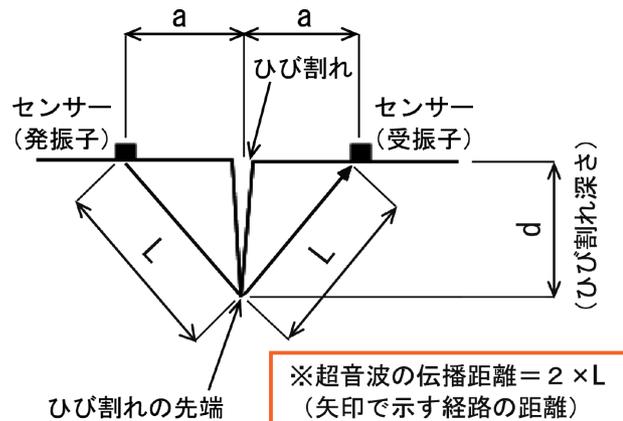


図-1 超音波法によるひび割れ深さの測定原理

- ②発振子から発振された超音波は、点線の矢印で示すように、ひび割れの先端を經由して受診子に到達する。
- ③発振子からひび割れ先端までの距離を L とすると、ひび割れ先端から受診子までの距離も L になる。したがって、超音波の伝播距離は $L+L=2L$ となる。
- ④超音波の伝播速度 V_p (mm/sec)、伝播時間 t (sec) および伝播距離 $2L$ (mm) の間には式(1)の関係が成り立つ。

$$2L = V_p \times t \quad \dots \text{式(1)}$$

- ⑤ひび割れの深さ d と a と L の間には式(2)の関係が成り立つ。

$$L^2 = a^2 + d^2 \quad \dots \text{式(2)}$$

- ⑥式(1)より得られた L の値と a の値を式(2)に適用して d の値を計算する。
 ※計算を始める前に、速度、時間、距離の単位を mm と sec で統一しておくことと計算間違いを防止することができる。 μ (マイクロ)は $1/1000000 (= 1.0 \times 10^{-6})$ を表す。

【計算方法】

- (1)速度と時間の単位系を合わせる。

$$V = 4000\text{m/sec} = 4.0 \times 10^6\text{mm/sec}$$

$$t = 125\mu\text{sec} = 125 \times 10^{-6}\text{sec}$$

- (2)式(1) : 伝播距離 = 伝播速度 \times 伝播時間より、 L を計算する。

$$\begin{aligned} 2 \times L &= V_p \times t \\ &= 4.0 \times 10^6 \times 125 \times 10^{-6} = 500 \\ L &= 250\text{mm} \end{aligned}$$

- (3) (2)の計算結果を式(2)に適用して d を計算する

$$d = \sqrt{L^2 - a^2} = \sqrt{(250 \times 250 - 150 \times 150)} = \sqrt{40000} = 200\text{mm}$$

【解答】200mm