

(108) 三谷川第二橋の計画と設計(その2)

日本道路公団	四国支社構造技術課	望月 秀次
日本道路公団	四国支社池田工事事務所	安藤 博文
川田建設(株)	開発部	正会員 ○北野 勇一
川田建設(株)	開発部	劉 新元

1. はじめに

三谷川第二橋は、徳島自動車道に架橋される2径間連続のエクストラードP C箱桁橋である。橋長は152m(支間57.9m+92.9m)であり、図-1に橋梁形状を示す。本橋梁の構造形態は、従来のP C斜張橋に対し桁の剛性を高め、主塔の高さを低減したものである。また、斜材は主塔を貫通させることにより塔頂部に集中して配置できるため、主塔の高さが低くても大きな偏心量を確保できる特徴がある。

主塔の斜材配置(サドル)構造は国内で実績のある貫通固定方式であるが、定着装置の構造自体は従来とは異なる「押さえブロック方式」を採用した。このサドル構造は、グラウト硬化後に発生する斜材の張力差に対し、斜材ケーブルからグラウトを介し内管へと伝達させ、主塔両脇部の押さえブロックにて定着する特徴を有している(図-2)。このようなサドル定着方式の使用事例は過去にないため、主塔サドル構造の一部を取り出した実物大供試体にて定着機構の検証を行った。

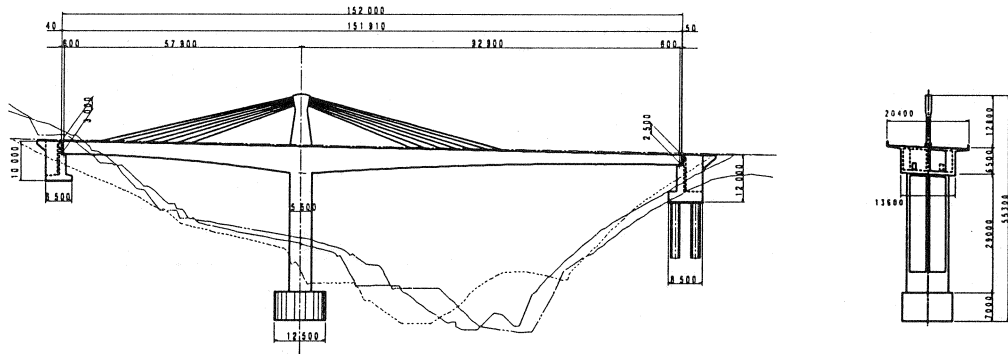


図-1 橋梁形状

《主塔サドル部の諸数値》

- ・斜材ケーブル：19S15.2mm(SWPR7B)
- ・斜材配置：ラジアル一面吊り形式
(サドルでは2列7段、上下左右間隔400mm)
- ・斜材角度：13.97~20.28°(線形未考慮)
- ・サドル曲げ半径：5.9~3.5m
- ・サドル内管長：3.6~2.9m

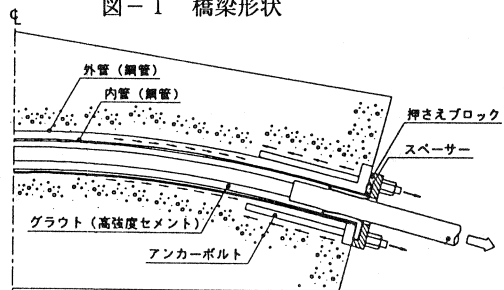


図-2 斜材張力差の伝達概念

2. サドル構造の設計

サドル構造は、張力差 $\Delta P=34\text{tf}$ (地震時の1.5倍)に対し、①グラウトを介した付着伝達が行われる、②斜材張力はその増加側で定着固定される、として設計した。図-3にはサドル端部構成を示すが、設計張力差に対し内管はグラウトとの合成断面として圧縮抵抗し、断面形状を外径154mm、厚み8mmとした。また、グラウトが分担する荷重はスペーサ先端テーパ部(3.5度、長さ100mm)がくさびとして受けるため、斜材P E被覆部で斜材張力差は内管とスペーサによって伝達される。これによりスペーサ前面に伝わった張力

差は押さえブロックを介しアンカーボルトで主塔に定着され、押さえブロックはスペーサとの面接触部で39mm厚(板曲げによる)、アンカーボルトは押さえブロックを4点で固定するので設計荷重8.5tfに対し全周付着抵抗するとして、32mm径のPCネジコンを500mm埋め込む必要がある。

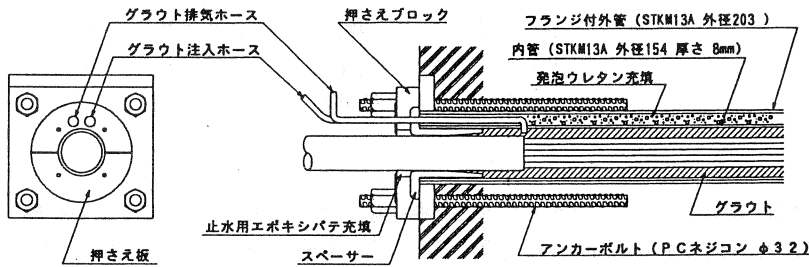


図-3 サドル端部構成

3. 基礎試験

3-1 グラウト付着長

内管に充填するグラウトには、PC鋼材の腐食保護以外に大偏心外ケーブル方式のケーブル固定として高い付着力や適度な付着長であることが要求される。これより、高い付着力を得るためには高い圧縮強度および付着面積を低減させないための充填性が求められ、従来^{1) 2)}より使用されてきた高強度セメントグラウトを選定した。ここで、設計付着強度を $f_{bod} = 33.0 \text{ kgf/cm}^2$ (終局状態の上限値とする) とすると、設計付着長は設計張力差より求られ、約700mmとなる。

付着長としてはストランド→グラウト→内管のそれぞれの伝達長とすれば、

- ・設計付着長 $L = L1 + L2 = 11.4 + 59.4 = 70.8 \text{ cm}$
 - ・ストランド→グラウト $L1 = \Delta P / (19\pi \cdot \phi \cdot f_{bod}) = 34 \times 10^3 / (19\pi \cdot 1.52 \cdot 33) = 11.4 \text{ cm}$
 - ・グラウト→内管 $L2 = \Delta P / (\pi \cdot \phi \cdot 0.4 f_{bod}) = 34 \times 10^3 / (\pi \cdot 13.8 \cdot 13.2) = 59.4 \text{ cm}$
- ただし、内管の設計付着強度 $0.4 f_{bod} = 0.4 \times 33 = 13.2 \text{ (kgf/cm}^2)$ 。

鋼管との付着は丸鋼と同等である異形鉄筋の40%とし、内管の内径は $\phi = 13.8 \text{ cm}$ 。

また、図-4に示す三次元FEM解析では弾性係数と付着長の関係を検証したが(張力差やポアソン比などには影響されない)、セメント系グラウト材を用いれば付着滑りのない条件下で、付着長は400~550mmであることがわかる。

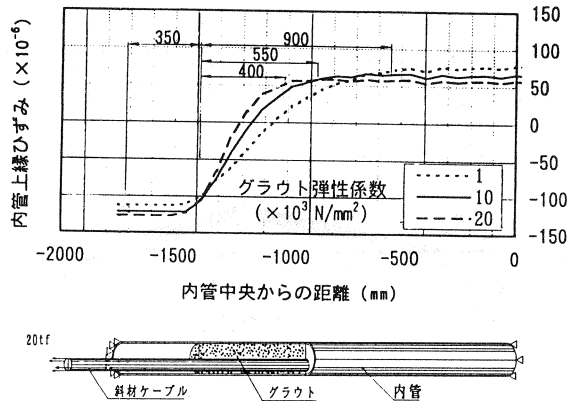


図-4 三次元FEM解析

3-2 グラウトの材料特性

グラウト材はセメントペースト(タスコンセメント)を用い、水セメント比は37%とした。グラウトの練り上がりおよび養生温度は10℃であり、流動性はJ14漏斗試験において2.77秒、膨張およびブリージング率は0%であった。硬化後の材料試験は圧縮・静弾性・付着強度について行い、その結果を表-1に示す。ここで、付着試験はPC鋼より線の付着力が小さいことから付着長を300mmとした試験体を用い、付着強度は

最大荷重を付着面積にて除した値とした。ストランド(15.2mm)は2タイプ用意し、Aタイプが今回用いるPEコーティングPC鋼より線(スープロストランド)であり、Bタイプを裸PC鋼より線とした。

表-1よりグラウトの静弾性係数は 10×10^3 (N/mm²)程度となった。付着強度はBタイプよりもAタイプのものが1.5倍高くなり、Aタイプは材齢3日で設計値の3.3(N/mm²)を上回った。

表-1 グラウト特性値 単位:(N/mm²)

材齢(日)	1	3	7	14	28
圧縮強度	12.7	26.8	37.8	46.9	47.3
静弾性係数	4700	8000	10200	11800	12100
付着強度-A	2.10	3.40	3.16	3.05	2.96
付着強度-B	-	2.15	-	-	2.11

3-3 アンカーボルトの引抜耐力

押さえブロック方式のサドル構造では斜材の抜け出しに対し、主塔に定着されたアンカーボルトの引抜により抵抗する。また、ねじ節式のPC鋼材はコンクリートとの付着力もかなり高いが³⁾、サドル部には斜材が密に配置され、上下4斜材の隣接箇所アンカーボルトは最小100mm間隔の群定着となる。この場合にも設計上の付着力(許容値30kgf/cm²)を満足するか、サドル部の実配置に即した供試体で確認している。試験要領は、埋込長およびスパイラル補強筋の有無をパラメータとした4タイプ(表-2)について、コンクリートが設計基準強度50N/mm²に達した時点で設計荷重8.5tfおよび最大24tfまでの引抜を行った。

これより、すべてのタイプで群定着のアンカーボルトに設計荷重が働いても引抜かれることはなかった。また、図-5には各荷重における埋め込み深さ方向のひずみ分布状況を示したが、24tf(付着強度で50kgf/cm²)に至るまでひずみは深さ方向に低減する傾向であったので、終始付着で抵抗していることがうかがえる。

さらに、図-6にはコンクリート上面における引抜変位量を測定した結果を示したが、これからも引抜変位量と引抜力の関係は線形的であるので付着は切れてないと言える。また、埋め込み部のひずみ低減傾向を三角形分布と仮定し伸び量換算すると、ひずみの伝達長(Lb)は340mm程度であると推定できる。

表-2 アンカーボルトの引抜

タイプ名	埋込長	補強筋の有無	引抜の有無		備考
			8.5tf	24tf	
N5	50cm	無	無	無	採用案
S5	"	有	無	無	
N7	70cm	無	無	無	
S7	"	有	無	無	

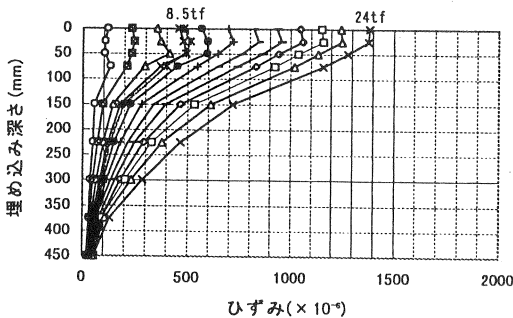


図-5 タイプN5の深さ方向ひずみ分布

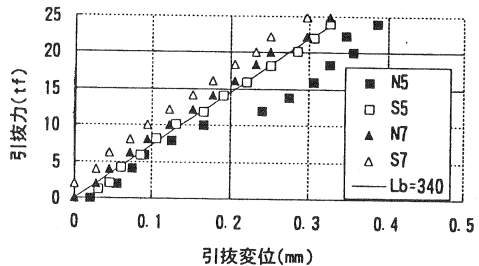


図-6 各タイプの引抜変位量

4. サドル定着装置の性能試験

4-1 試験方法

試験斜材には、死荷重変動により張力が増加する最上段(斜材角度14度、サドル内曲げ半径5.9m)を選定し、主塔サドル部の上2斜材分を取り出した貫通固定部の供試体を製作した。試験は図-7に示す構造で行い、試験方法は以下の2通りとした。これより、図-8に示す試験荷重ステップに従い、各試験を実施した。その試験状況を写真-1に示す。

(1) 斜材張力差の伝達機能

死荷重変動と活荷重または地震時に発生する張力差によってサドル構造内に作用する応力の伝達状況を調査する。試験は、斜材1本に対し、使用時(①+②)13tfと地震時(①+③)22.5tfを基準とした張力差を与えるが、各ステップの目標値はこれを5tf刻みに換算した。ここで、各荷重による張力差は①死荷重9.0tf、②活荷重4.0tf、③地震荷重13.5tf、であるが死荷重時は斜材左右がそれぞれ27、18tfの張力増加となる。よって、まず、斜材左右とも基準値である緊張力250tfから一旦270tfまで張力を引き上げ、その後左側のみ死荷重状態の280tfまで再度引き上げる。この状態を使用時および地震時の始点として、活荷重については10回の繰り返し片引きを行うことによって使用時の検討とし、地震荷重に対しては0.5倍ずつ2.5倍まで張力差を与えていく。

(2) サドル構造の耐荷力

張力差試験が終了した後に死荷重前状態の270tfまで徐荷し、その状態より斜材両側の張力を最大0.9Pyに達するまで増加させ、サドル構造の機能が低下しないか確認した。

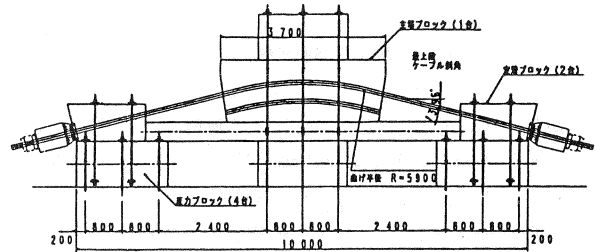


図-7 サドル定着装置の性能試験

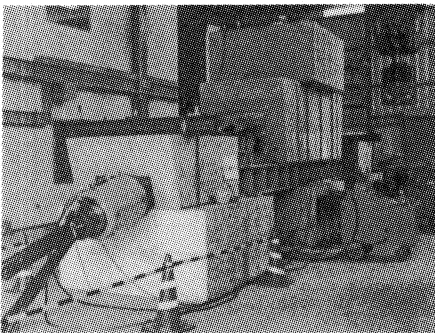


写真-1 試験状況

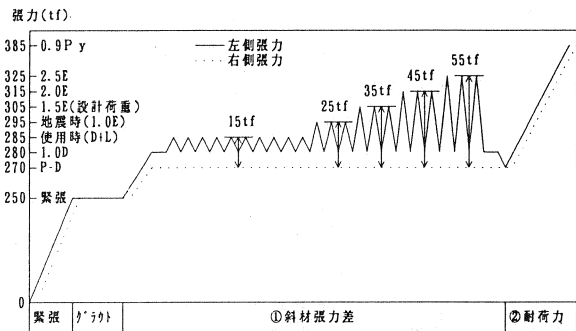


図-8 試験荷重ステップ

4-2 試験結果と考察

採用したサドル構造は張力の増加が発生する押さえブロック側で定着固定されるため、サドル中央部では引張が働くが、張力増加側のサドル端部では圧縮となる。図-9に各荷重ステップにおける内管ひずみ分布状況を示したが、活荷重時と耐荷力試験時のように両引きで張力が増加するときには左右どちらの内管端部も圧縮ひずみが発生し、一方、地震時では片引き張力が卓越する側のみ圧縮力を受けるようになる。また、活荷重の繰り返し载荷によっても内管のひずみ分布に変化はなく、地震時においても315tf(2.0E)まで固定側の内管には張力差による影響がなかった。これより、サドル構造の設計で仮定したグラウトの付着伝達機能は設計張力差(305tf, 1.5E)まで確実に維持されていることがわかった。さらに、斜材の張力差によって生ずる引張力が常に最大となるのは図中C点であるので、グラウトの付着長は900mm程度になると考えられる。

図-10は内管ひずみ分布図のA~F点に着目してステップごとの張力(左側)とひずみの推移に変換したものである。これより、斜材に地震時のような張力差が働いてもそれを直接受ける内管中央部では張力に比例して引張ひずみが増加する傾向であるので、グラウトの付着効果が持続していることがうかがえる。また、地震時の1.5倍における引張ひずみの最大値は270μ(グラウト応力換算で27kgf/cm²)であるので、この観点からも設計張力差までは付着切れがないと言える。

押さえブロックの変位について測定した結果を図-11に示す。これより、押さえブロック変位は片引き両引きに関わらず張力が285tfまで小さく、その間、張力が伝達されなかったと考えらる。よって、内管と外管の間には緊張力250tfに対する静止摩擦力が35tf以上あることが確認できた。

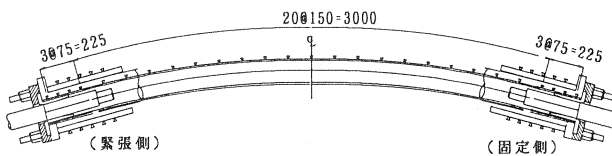
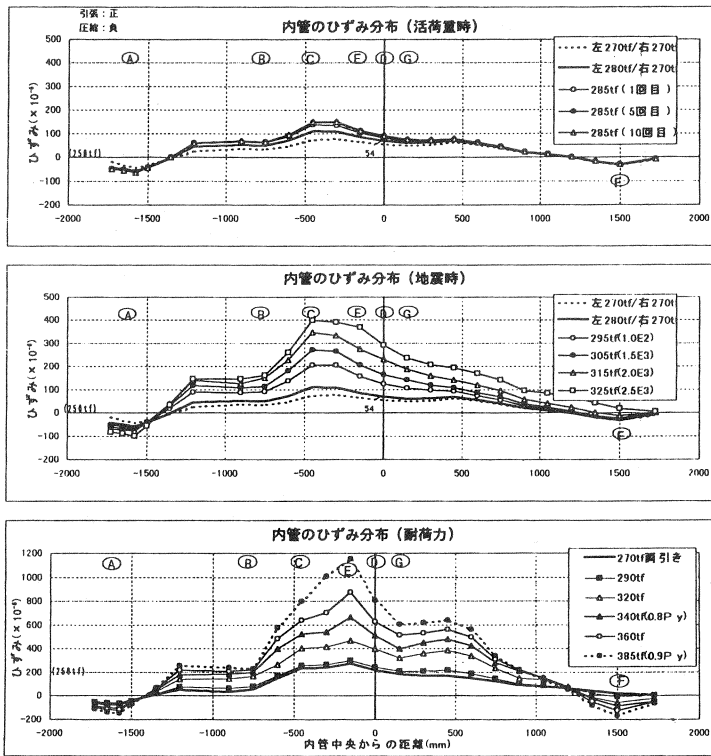


図-9 内管ひずみ分布

4-3 サドル構造の張力伝達挙動

サドル構造の中でその挙動が不明確であるのはグラウトの付着性能や張力差が押さえブロックに伝わるまでの伝達機構である。ここで、斜材の張力が片側(張力差)または両側(増分張力)で増加するとき、斜材からグラウトを介し内管に伝達する挙動は、両端が固定された直列バネの中間節点に軸力がかかるものと考えられる。また、中間節点は内管端部350mm区間でケーブルとグラウトは付着されておらず、さらに設計付着長(700mm)内ではひずみが三角形分布になるとすると、端部の圧縮バネ長はL1=700mm、サドル中央の引張バネ長はL2=2100mmとなる。図-13、14にはそれぞれ増分張力が20tf、張力差が55tf作用する場合の内管ひ

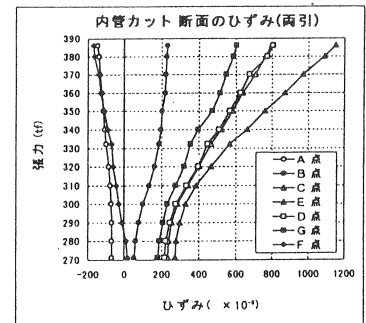
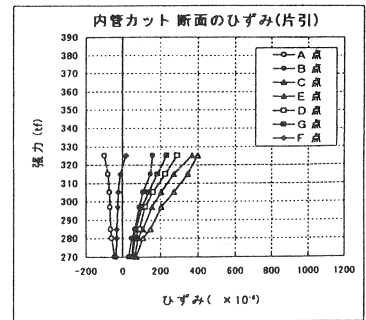


図-10 内管カット断面ひずみ

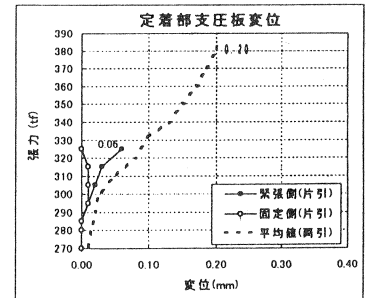


図-11 押さえブロック変位

ずみ分布を推定したものである。基本的には、斜材が付着された断面(内管①)が伸びようとするが、これが端部バネを介して拘束されるため内管全体(内管②)には拘束伸び分の圧縮が働く。これらを合成したのが実際のひずみ分布(内管①+②)となり、増分張力20tfに対しては、内管中央部で11.1tf分の引張および端部では8.9tfの圧縮を受け、押さえブロック反力も増分張力より低減された8.9tfがかかることになる。これが地震時の2.5倍では増分張力(20tf)と張力差(55tf)の合成力となっており、端部圧縮ひずみは636 μ (反力48.9tf)発生する。現実的には、内管と外管の間に摩擦抵抗(35tf)があるので、この摩擦を考慮することにより内管のひずみ分布を推定することができる。

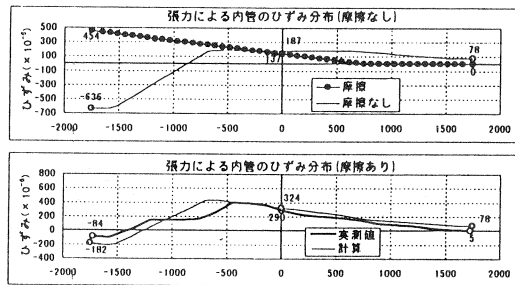
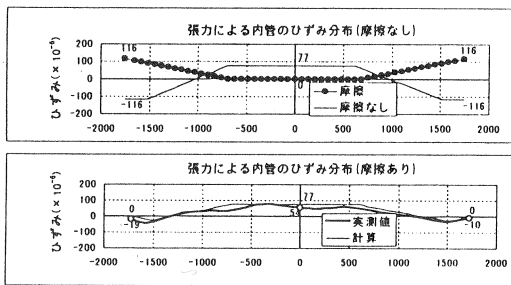
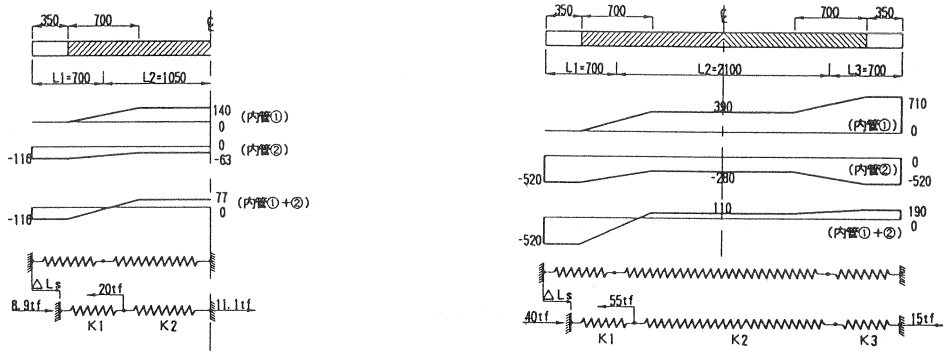


図-1 3 増分張力(P-D)による推定内管ひずみ分布 図-1 4 張力差(2.5E)による推定内管ひずみ分布

5. まとめ

「押さえブロック方式」のサドル定着装置に関して得られた知見を以下に示す。

- ①本サドル構造に高強度セメントグラウトを用いる場合、設計上の付着性能を満足する。
- ②アンカーボルトの引抜耐力は、主塔コンクリートに群定着を行う場合にも設計上の付着力を満足する。
- ③サドル構造の張力伝達挙動は、斜材ケーブルが付着によって定着されているグラウトと内管の合成断面部における伸びを内管端部がバネで受けているとして推定できる。
- ④張力差の伝達機能は設計張力差が働く場合に健全であり、斜材耐力の90%の張力が作用してもサドル定着装置には有害な変形や損傷が認められず、十分な耐荷性を有する。

参考文献

- 1)木水・松井・春日：小田原港橋におけるサドル構造に関する研究、プレストレストコンクリート、Vol. 36, No5, Sept. 1994
- 2)宮崎・森藤・古賀・前田・野永：北陸新幹線 屋代南・屋代北橋梁の斜材主塔部固定構造（貫通固定式）の実物大試験について、プレストレストコンクリート、Vol. 36, No5, Sept. 1994
- 3)F・レオンハルト：レオンハルトのコンクリート講座①、⑤、鹿島出版会