

3. 2 鋼製橋脚とコンクリート橋脚などの地震時特性比較WG

(1) 目的

橋脚は大別して鋼製橋脚とコンクリート橋脚に分けられる。

一般に上部工反力を同一とした場合、鋼製橋脚はコンクリート橋脚に比べ外形断面寸法を小さくする事が可能となる事から、大都市圏内高架橋等の様に空間的制約条件が存在する場合に有利な構造となる。また、コンクリート橋脚は比較的経済的ではあるが、自重が重く基礎構造物に与える影響は大きい。この様に全般的な見地から見た場合でも、鋼製橋脚とコンクリート橋脚では特徴に様々な差異があり、設計施工上の諸条件により、より有利な構造形式が採用されている。

また、平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震により、多くの橋脚に被害が発生した事から、平成8年12月の道路橋示方書改訂時に橋脚の設計方法が大きく変わった。とりわけ橋脚の耐震設計法の変化は大きく、その設計方法の変更に伴う各構造形式の特徴の変化も、まだ設計事例が少ない事から完全には把握できていないのが現状である。

そこで本WGでは、平成8年12月道路橋示方書（以後、新道路橋示方書と呼ぶ。）によりある一定の条件の下で鋼製橋脚及びコンクリート橋脚に対する試設計を実施する事で、各橋脚の特性を見出そうと試みた。

また、今現在においてはまだ事例は少ないが、将来的に増加してくる事が予想される合成橋脚について、より容易に理解を深める事が可能な様に、文献リストカードを作成した。

(2) 合成橋脚に関する文献リストカードの作成

(a) 調査方法

本文献リストカード作成にあたり、各種論文集（1980年以降に発刊された土木学会論文集、構造工学論文集、構造工学シンポジウム論文集、年次講演会講演概要集及びコンクリート工学年次論文報告集）のみならず、図書及び雑誌（1980年以降に発刊された橋梁と基礎）からも幅広く調査を実施しリスト化した。また、合成橋脚のみならず他の合成構造に対する検討論文に対しても、関係するものは調査対象とした。

(b) リストカード調査項目

調査項目は以下の8項目である。

- ① タイトル
- ② 出典
- ③ ページ
- ④ 著者名
- ⑤ 発行年月
- ⑥ 発行者
- ⑦ キーワード
- ⑧ 概要

(c) 調査結果

調査した結果得られた文献リストカードを次項以降に示す。

タイトル	コンクリートを部分的に充填した無補剛箱形鋼柱の繰り返し弾塑性挙動		
出典	構造工学論文集	ページ	249-262
著者名	宇佐美勉, 葛漢彬他		
発行年月	1993年 3月	発行者	土木学会
キーワード	変形能、コンクリート部分充填、無補剛箱形断面柱、ダクティリティ		
概要	<p>本論文は、コンクリートを部分的に充填した箱形断面柱の強度と変形特性を明らかにしようとして行った実験的研究についてまとめたものである。無補剛箱形断面柱について実験を行い、コンクリート充填部の長さ、幅厚比、細長比などが、部材の強度、ダクティリティなどに及ぼす影響について調べている。</p>		

タイトル	繰り返し荷重を受けるコンクリート充填鋼柱の強度と変形能に関する研究		
出典	構造工学論文集	ページ	163-176
著者名	葛漢彬, 宇佐美勉他		
発行年月	1994年 3月	発行者	土木学会
キーワード	座屈、コンクリート充填柱、繰り返し載荷、ダクティリティ、エネルギー吸収能力、耐震設計、強度		
概要	<p>本論文は、コンクリートを部分的に充填した鋼柱の耐震性能への影響が考えられる幅厚比パラメータ、細長比パラメータを変えることにより、コンクリートの充填率が鋼製橋脚の弾塑性挙動、強度劣化、剛性低下、エネルギー吸収能力などへ与える影響を調べたものである。</p>		

タイトル	コンクリートを充填した長方形箱形断面柱の耐荷力と変形性能に関する 実験的研究		
出典	構造工学論文集	ページ	1347-1360
著者名	中井博, 北田俊行, 吉川治他		
発行年月	1993年 3月	発行者	土木学会
キーワード	コンクリート充填、過大外力、耐荷力、変形性能、ハイブリッド実験		
概要	本論文は、過大外力を受けた後の合成柱の耐荷力と変形性能を、無補剛の鋼板要素からなる長方形箱形断面合成柱を対象としたハイブリッド実験を行い、外力を与えた合成柱、および与えていない合成柱について比較・考察したものである。		

タイトル	地震荷重を受けた後の合成柱(充填形式)の耐荷力、および変形性能に関する実験的研究		
出典	構造工学論文集	ページ	1401-1412
著者名	中井博, 北田俊行, 中西克佳他		
発行年月	1994年 3月	発行者	土木学会
キーワード	地震荷重、繰り返し載荷、コンクリート充填、ハイブリッド実験、耐荷力、変形性能		
概要	<p>本論文は、合成柱の繰り返し載荷に対する変形性能を向上させるための構造詳細について検討するため、劣化の起こりやすい柱基部の充填コンクリートを、鉄筋で補強した合成柱供試体、およびスタッドジベルで補強した合成供試体を対象にハイブリッド実験を行ったものである。また、景観面から重要視されているコーナー部を圆弧上とした断面を有する合成供試体についても、同様な実験を行っている。</p> <p>さらに、鋼製柱を対象とした実験も行い、合成柱と鋼製柱との繰り返し荷重下における耐荷力、および変形性能の差異についての比較・検討も行っている。</p>		

タイトル	コンクリートを部分的に充填した合成柱のせん断遅れと橋脚の設計への応用		
出典	構造工学論文集	ページ	1127-1136
著者名	中井博, 中西克佳, 藤田晶子他		
発行年月	1995年 3月	発行者	土木学会
キーワード	せん断遅れ、コンクリート部分充填、終局状態		
概要	<p>薄肉箱形断面部材で構成された鋼製橋脚柱では、柱基部断面近傍においてフランジプレート内の垂直応力が腹板の接合点において最大となり、フランジプレートの中央に進むにしたがって応力が漸減するせん断遅れの現象を伴うことが古くから知られている。また、コンクリートを部分的に充填した合成柱とした場合、合成断面と鋼断面との間で断面性能が急変するので、この種の橋脚柱に起こるせん断遅れの現象は、下端の固定端近傍ではなく、合成断面と鋼断面との境界断面近傍に発生するものと推定される。本論文は、Reissner の仮定を用いて鋼製箱形断面の内部にコンクリートを部分充填した場合の片持梁のせん断遅れに対する解を求め、実験結果と比較検討し、解析方法の妥当性について種々な面から検討したものである。さらに、本文で求めた片持梁に関する基本解を用いて、せん断遅れを解析するための提案公式、および、せん断遅れによる垂直応力の算定方法を示している。最後に、この種の橋脚柱の使用限界状態、および、それらを構成する補剛板の終局限界状態である局部座屈、ならびに全体座屈の照査法も述べている。</p>		

タイトル	鋼管を用いた合成構造橋脚定着部の耐荷柱状		
出典	コンクリート工学年次論文報告集	ページ	1313-1318
著者名	篠崎裕生, 三上浩, 岡本隆他		
発行年月	1996年	発行者	
キーワード	合成構造橋脚、外面リブ付き鋼管、フーチング、定着		
概要	本論文は、合成構造橋脚の定着部に着目し、定着方法を鋼管の埋め込み形式とした場合の定着性状を、鋼管の埋め込み深さおよびスタッドの有無をパラメータとして検討したものである。		

タイトル	コンクリート充填鋼管柱の埋め込み柱脚に関する実験的研究		
出典	第51回年次講演会講演概要集	ページ	860-861
著者名	安原真人, 村田清満他		
発行年月	1996年 9月	発行者	土木学会
キーワード	コンクリート充填鋼管柱、変形性能、交番載荷		
概要	本論文は、基礎との接合方式に関する基礎資料を得る目的で、円形コンクリート充填鋼管柱とフーチングの接合部に注目した繰返し載荷実験を行い、埋め込み柱脚方式に着目し、その耐力及び変形性能を交番載荷実験により検討したものである。		

タイトル	鋼管を用いた合成構造橋脚定着部の耐荷性状		
出典	第51回年次講演会講演概要集	ページ	1224-1225
著者名	篠崎裕生, 三上浩, 岡本隆他		
発行年月	1996年 9月	発行者	土木学会
キーワード	合成構造橋脚、定着部		
概要	<p>本論文は、合成構造橋脚の定着部に着目し、定着方法を鋼管の埋め込み形式とした場合の定着性状を、鋼管の埋め込み深さおよびスタッドの有無をパラメータとして検討したものである。その結果、埋め込み深さが鋼管径の 1.5 倍の試験体ではフーチングに大規模なせん断破壊面が生じること、本試験体の規模では、スタッド補強によるフーチングのせん断破壊の抑制が見られないこと等が明らかとなった。また、鋼管下端の支圧力に着目し定着部耐力を算定した結果、鋼管埋め込み深さと破壊モードの関係を表現したものである。</p>		

タイトル	軸力と曲げを受けるコンクリート充填鋼管柱の耐力、変形特性		
出典	第50回年次講演会講演概要集	ページ	222-223
著者名	村田清満, 渡辺忠朋他		
発行年月	1995年 9月	発行者	土木学会
キーワード	コンクリート充填鋼管柱、耐力、変形性能		
概要	<p>本論文は、鉄道土木構造物として施工されるコンクリート充填鋼管柱を模した試験体を用いて、軸力一定条件下で水平交番載荷試験を行い、耐力および変形性能について確認したものである。</p>		

タイトル	曲げと軸力を受けるSRC柱の曲げ耐力と変形性能		
出典	第50回年次講演会講演概要集	ページ	226-227
著者名	川井治, 木下雅敬, 村田清満他		
発行年月	1995年 9月	発行者	土木学会
キーワード	SRC構造、変形能力、終局限界状態、曲げ耐力		
概要	本論文は、SRC部材をモデル化した柱供試体の載荷実験を行い、あわせて柱と基礎との接合方式の一つである埋め込み方式について耐力および変形性能の検討を行ったものである。		

タイトル	交番曲げを受けるコンクリートの充填角形鋼管梁の耐荷力に関する実験的研究		
出典	構造工学論文集 Vol.34A	ページ	265-274
著者名	桜井孝昌、加藤賢治、宇野洋平、忠和男、草間晴幸		
発行年月	1988年 3月	発行者	土木学会
キーワード	局部座屈、交番曲げ荷重、コンクリート充填鋼管、中空鋼管、幅厚比		
概要	<p>本論文は、冷間成形鋼管梁を対象として、コンクリート充填による補剛効果を検討したものである。検討には、コンクリートを充填しない角形鋼管およびコンクリート充填角形鋼管の耐荷力実験を行い、交番曲げの繰り返し載荷回数と耐荷力の減少傾向を明確にし、コンクリート充填方式の効果を示している。</p>		

タイトル	コンクリートを充填した鋼製箱形単柱の圧縮耐荷力に関する 実験的および理論的研究		
出典	構造工学論文集 Vol.38A	ページ	119-132
著者名	葛漢彬、宇佐美勉、寺田昌弘		
発行年月	1992年 3月	発行者	土木学会
キーワード	じん性、エネルギー吸収率、合成柱、薄肉箱形断面短柱、終局強度 初期たわみ、残留応力、コンクリート充填、弾塑性有限変位解析		
概要	<p>本論文は、コンクリートを充填した薄肉箱形断面柱の強度と変形特性を、実験的、理論的に検討したものである。</p> <p>実験は、パネルの幅厚比などをパラメータとし、総計10本の溶接箱形断面の鋼製短柱とコンクリートを充填した合成柱で行った。その結果、荷重-ひずみ履歴曲線、終局強度等を比較検討し、コンクリート充填柱が耐震性の面から鋼製短柱より優れた特性を有することを実証している。また、理論的検討では、初期たわみ、残留応力を考慮した弾塑性有限変位解析を行い、実験結果との比較から、その有用性を示している。さらに、実験結果と理論的検討を踏まえ、コンクリートを充填した箱形断面中心圧縮短柱の強度設計式および板パネルの局部座屈強度式を提案している。</p>		

タイトル	複合構造に関する研究の発展の歴史と動向		
出典	土木学会論文集 第344号	ページ	13-25
著者名	前田幸雄		
発行年月	1984年 4月	発行者	土木学会
キーワード	複合構造、混合構造システム、異種材料、異種部材、終局限界 合成プレートガーダー、合成箱桁、合成柱、混合構造、ずれ止め		
概要	<p>現在我が国では、複合構造の分野で実用化のための技術開発が基礎研究よりも先行しており、総合的な複合構造、特に混合構造システムの発展のためには、異種材料または異種部材の相関性を考慮したシステム最適化とシステム信頼性、および連結機構の詳細な研究、使用性と終局限界を考慮した設計法などの研究が進歩しなければならない。そのような観点から、本報告は、合成プレートガーダー、合成箱桁、合成柱、混合構造、ずれ止め、設計法に分けて、研究の発展の歴史と現況について論述し、また将来の問題点についての考察を行ったものである。</p>		

タイトル	コンクリートを充てんした鋼製橋脚の 耐荷性に関する実験的研究		
出典	土木学会論文集 第344号/I-1	ページ	195-204
著者名	中井博、吉川紀		
発行年月	1984年 4月	発行者	土木学会
キーワード	合成柱、コンクリート充填、合理的設計法		
概要	<p>本論文は、合成柱の合理的設計法を模索するために必要な資料を蓄積するという目的のもとに、軸方向圧縮力と曲げモーメントを受ける模型実験、および軸方向圧縮力、曲げモーメントと水平力を受ける柱基部の模型実験を行い、合成柱特有の各種の力学的挙動を検討し、さらに、解析を通じて明らかにできた事項を報告したものである。</p>		

タイトル	コンクリートを充てんした鋼製角形柱の 鋼板要素の一設計法		
出典	土木学会論文集 第356号/I-3	ページ	405-413
著者名	中井博、北田俊行、吉川紀		
発行年月	1985年 4月	発行者	土木学会
キーワード	コンクリート充填、弾塑性有限変位解析、終局強度、局部座屈		
概要	<p>本論文は、有限要素法を用いた弾塑性有限変位解析により、充てんコンクリートの拘束効果が鋼板要素の終局強度に及ぼす影響を明らかにするとともに、鋼板に溶接したスタッドジベルによる鋼板の座屈防止の可能性の検討、および合成柱の外側の無補剛鋼板と補剛鋼板の一設計法を提案したものである。</p>		

タイトル	軸方向圧縮力と曲げを受ける長方形断面 合成柱の一耐荷力解析		
出典	土木学会論文集 第374号/I-6	ページ	447-456
著者名	中井博、吉川紀、吉田秀博		
発行年月	1986年 10月	発行者	土木学会
キーワード	コンクリート充填柱、終局強度、ダクティリティ、合成柱、CDC法、耐荷力		
概要	<p>本論文は、コンクリートを充填した角形断面鋼管柱に、軸方向圧縮力と曲げモーメントが作用する場合の耐荷力を、はり柱の基礎微分方程式を数値積分法を利用して解析するCDC法(Column Deflection Curve Method)を用いてパラメトリック解析を行い、その特性を明らかにするとともに、合成柱の耐荷力算定法の一提案を行ったものである。</p>		

タイトル	コンクリートを充填した長方形鋼製橋脚の 梁・柱隅角部の耐荷力に関する実験的研究		
出典	構造工学論文集 Vol.33A	ページ	327-340
著者名	中井博、吉川紀、村本和之		
発行年月	1987年 3月	発行者	土木学会
キーワード	合成柱、コンクリート充填、矩形鋼製橋脚、終局強度、せん断遅れ、耐荷力		
概要	<p>本論文は、合成柱を用いた柱部材と梁部材との隅角部をモデル化した実験供試体によって静的載荷実験を行い、隅角部のせん断遅れ現象についての考察や耐荷力に与える鋼管の補剛効果、充填コンクリートの効果、および、ジベルの効果等について検討を行ったものである。</p>		

タイトル	合成柱(コンクリートを充てん方式)を有する 鋼製橋脚の現場載荷実験		
出典	土木学会第41回年次学術講演会/I-233	ページ	465-466
著者名	吉田茂、中井博、吉川紀、山内幸裕、田中実雄		
発行年月	1986年 11月	発行者	土木学会
キーワード	合成柱、現場載荷実験、コンクリート充填、合成効果		
概要	<p>本報告は、大阪府道高速大阪湾岸線で計画された鋼製T型橋脚について、この構造物の合成効果を調べるために、コンクリート充てん前後の力学的挙動把握のために行った現場載荷実験について報告したものである。</p>		

タイトル	合成柱(充てん方式)の圧縮・曲げ耐荷力 および付着力に関する基礎実験		
出典	橋梁と基礎85-6	ページ	19-27
著者名	中井博、吉川紀、中村一平、袴田文雄、寺田博昌		
発行年月	1985年 6月	発行者	建設図書
キーワード	合成柱、曲げ耐力、付着力、コンクリート充填、スタッドジベル		
概要	<p>本論文は、短柱角形のコンクリート充てん断面について圧縮試験と曲げ試験、および角形と円形断面の付着試験を行い、合成柱の基本的挙動を報告したものである。</p>		

タイトル	コンクリート充填鋼管の載荷実験		
出典	土木学会第36回年次講演会講演概要集	ページ	1-58
著者名	大塩俊雄、金井道夫		
発行年月	1981年 10月	発行者	土木学会
キーワード	コンクリート充填鋼管、合成作用、局部座屈、		
概要	<p>コンクリートを鋼管に充填したコンクリート充填鋼管は、鋼とコンクリートの合成作用、特に鋼管のフープ作用により、大きな粘りが期待でき、また鋼管の局部座屈がコンクリートにより防止されるために経済的な設計が可能になる。しかしながら、コンクリートと鋼管の合成作用、鋼管の局部座屈の防止などについては、コンクリート充填鋼管の挙動が複雑なため十分に解明されていない。そこで本報告は、建設省土木研究所が行ったコンクリート充填鋼管の大型試験体による載荷実験で、鋼管の局部座屈の防止と合成作用について検討した概要を示したものである。</p>		

タイトル	合成柱(コンクリート充填方式)を有する 鋼製橋脚の現場載荷試験		
出典	橋梁と基礎 87-3	ページ	17-22
著者名	中井博、田中実雄、吉川紀、吉田茂、山内幸裕		
発行年月	1987年 3月	発行者	建設図書
キーワード	合成柱、コンクリート充填、局部座屈、合成效果、現場載荷実験		
概要	<p>本文は、阪神高速道路公団によって大阪湾岸線内に建設された、コンクリートを充填した鋼製橋脚に関する一連の静的および動的実験を現場で行った結果を報告したものである。</p> <p>実験は、コンクリート充填による鋼製橋脚の合成效果を調査することを目的とし、コンクリート充填前とコンクリート充填後とのそれぞれについて静的・動的荷重を載荷し、ラーメン隅角部近傍と橋脚柱基部近郊との応力分布および固有振動数と対数減衰率とを計測するように行っている。</p>		

タイトル	軸力と曲げを受ける合成柱(充てん方式)の 静的挙動に関する実験的研究		
出典	第38回年次学術講演会概要集第1部	ページ	489-490
著者名	中井博、吉川紀、由井洋三		
発行年月	1983年 9月	発行者	土木学会
キーワード	合成柱、コンクリート充填、局部座屈、CDC法		
概要	<p>本報告は、柱部材の基礎実験として行った、軸力と曲げを受ける合成柱の静的挙動について検討したものである。結論としては以下のことを述べている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・合成柱は曲げ応力度の占める比率が高い場合でも鋼管柱に比べ、1.3~1.4倍の耐荷力を有し、スタッドジベルの有無にあまり関係しない。 ・鋼管柱のじん性は、一般的に小さいが、合成柱のじん性は高く、地震力を受ける橋脚等に適した構造である。 ・たわみより逆算した鋼とコンクリートの弾性係数比は12~16程度である。 		

タイトル	合成柱(充てんコンクリート方式)を有する 鋼製橋脚の諸問題(上、下)		
出典	橋梁と基礎 Vol.17 No.2, No.3	ページ	42-50/45-47
著者名	河井章好、吉川紀、石崎浩		
発行年月	1983年 2月、3月	発行者	建設図書
キーワード	合成柱、コンクリート充填、全体座屈、局部座屈、累加強さ、CDC法		
概要	本報告は圧縮に対して有利なコンクリートと引張りに対して強靱な鋼とを合成した合成柱を鋼製橋脚の柱に採用するにあたり、解決しておくべき設計上の諸問題に関する資料を提供したものである。		

タイトル	軸方向圧縮力と曲げモーメントを受ける合成柱の耐荷力		
出典	橋梁と基礎 Vol.18 No.4	ページ	24-32
著者名	中井博、吉川紀、由井洋三、富田穰		
発行年月	1984年 4月	発行者	建設図書
キーワード	コンクリート充填、合成柱、CDC法、累加式、相関曲線式、耐荷力算定法、 局部座屈、初期たわみ、残留応力		
概要	<p>本論文は、CDC法を用いて、合成柱の残留応力や初期たわみも考慮した耐荷力算定法について述べ、さらにDIN18806とBS5400の相関曲線式および日本建築学会の累加式による耐荷力算定法について紹介し、筆者らが行った実験結果と上記の方法とを比較して、合理的な合成柱の耐震力算定法について考察したものである。</p>		

(3) 鋼製橋脚とコンクリート橋脚の比較試設計

(a) はじめに

橋脚は大別すると鋼製とコンクリート製とにわけられ、一般に構造条件、地盤条件及び施工環境等からより適した構造形式が選定される。これに対し、新道路橋示方書では、橋脚の耐震設計法が大幅に変更され、それに伴い設計断面構成や断面形状の大きさが、以前の道路橋示方書によって設計された橋脚とは異なってきており、設計条件の変化による断面等への影響も異なってくる事が懸念されている。しかしながら新道路橋示方書が施行されてから新設された橋脚はまだ少なく、設計条件の変化が断面等に及ぼす影響についてまだ十分に検討されていないのが現状である。

そこで本研究では、鋼製橋脚及びコンクリート橋脚について設計条件を変化させて試設計を行うことにより、設計条件の変化に伴う各橋脚の特性を検討した。

(b) コンクリート橋脚の比較試設計

(1) 設計条件

コンクリート橋脚の設計条件を以下に示す。

① 上部工

形式：5 径間連続非合成鈹桁橋

支間割：5 @ 4 5 m

幅員：0. 600m + 10. 500m + 0. 600m

活荷重：B 活荷重

② 下部工

橋脚：T 型橋脚

基礎：基盤剛支持

コンクリート：橋脚及びフーチング ($\sigma_{ck} = 240 \text{kgf/cm}^2$)

使用鉄筋：SD345

③ 上部工反力 (鉛直方向)

<死荷重> P1, P6	260tf	<活荷重> P1, P6	170tf
P2, P5	740tf	P2, P5	300tf
P3, P4	630tf	P3, P4	290tf

④ 重要度区分及び地域区分

重要度区分：B 種

地域区分：A 地域

⑤ 地盤条件

地盤種別：I ~ III 種地盤

⑥ 支点条件

鉛直方向：固定支持

水平方向：橋軸方向 - 弾性支持 (バネ定数 全脚共通 $2.5 \times 10^3 (\text{tf/m})$)

橋直方向 - 固定支持

⑦ 慣性力作用位置

橋軸方向：橋脚天端位置

橋軸直角方向：橋脚天端より上方へ 2500mm の位置

(II) 比較試設計

本検討では外形断面寸法、橋脚高及び地盤種別が変化した時のRC橋脚に対する試設計を試みる事により、各設計ケースに於ける必要主鉄筋量を算出した。

以下に橋脚概略図及び設計ケースを示す。

形状寸法 (単位 : m)

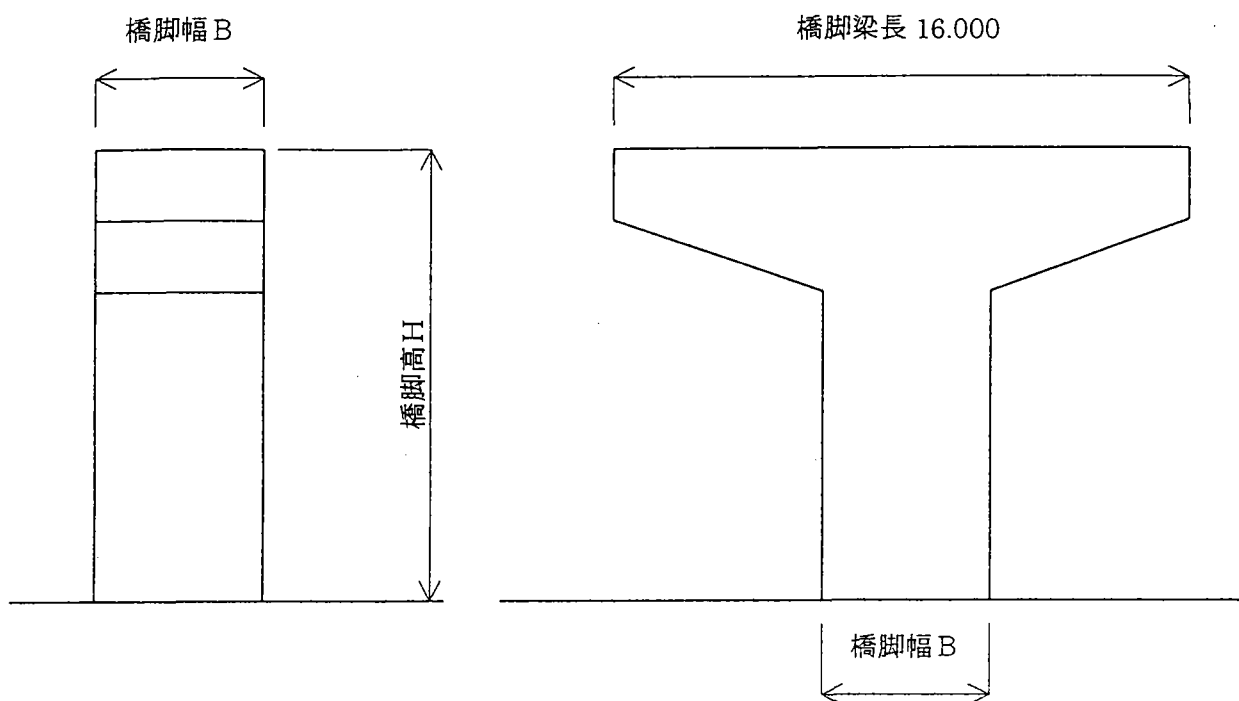


図-3.2.1 橋脚概要図

表-3.2.1 試設計ケース

ケースNo.	地盤種別	橋脚高H(m)
1	I	5.000
2		10.000
3		15.000
4	II	5.000
5		10.000
6		15.000
7	III	5.000
8		10.000
9		15.000

(橋軸方向, 橋軸直角方向含む)

(Ⅲ) 比較試設計に対する考察

比較試設計結果に対する考察を以下に示す。

< 1 種地盤 >

- ① 図-3.2.2 及び 3.2.3 より、橋脚高が 5 m の時は外形寸法が約 3000mm 位、橋脚高が 10m の時は外形寸法が約 4000mm 位迄は保有水平耐力法にて必要鉄筋量が決まるが、それよりも外形寸法が大きい場合は最小鉄筋量が必要鉄筋量となる。
- ② 図-3.2.4 より橋脚高が 15m の時は全外形寸法にわたって保有水平耐力法にて必要鉄筋量が決定される。
- ③ 試設計結果 (図-3.2.5) より、橋脚高が 5 m の場合は外形寸法が何れの場合も設計可能範囲にある。それに対し橋脚高が 10m の時は外形寸法が約 2900mm 以上の時に、また橋脚高が 15m の時は外形寸法が約 3500mm 以上の時に設計可能となる。

また、外形寸法が 4500mm の時に橋脚高が 5 m の時と 10m の時とで必要鉄筋量が逆転しているが、これは必要鉄筋量が最小鉄筋量になっている事に起因しているものと考えられる。

なお、設計可能範囲とは、主鉄筋の配置がシングルで鉄筋ピッチが 125mm の時の最大設置可能鉄筋量を示している。

< 2 種地盤 >

- ① 図-3.2.6 より、橋脚高が 5 m の時は 1 種地盤の時と同様に外形寸法が約 3000mm 位迄は保有水平耐力法にて必要鉄筋量が決まり、外形寸法がそれ以上の場合は最小鉄筋量が必要鉄筋量になる。それに対し、図-3.2.7 より橋脚高が 10m の時は外形寸法が約 3750mm 位迄は保有水平耐力法にて必要鉄筋量が決定され、外形寸法がそれよりも大きい場合は最小鉄筋量が必要鉄筋量となる。
- ② 1 種地盤と同様に橋脚高が 15m の時は図-3.2.8 からわかる様に全外形寸法にわたって保有水平耐力法にて必要鉄筋量が決定される。
- ③ 図-3.2.9 より橋脚高が 5 m の場合は外形寸法が何れの場合も設計可能であった。それに対し橋脚高が 10m の時は外形寸法が約 2800mm 以上の時に、また橋脚高が 15m の時は外形寸法が約 3600mm 以上の時に設計可能となる。

また、外形寸法が約 4000mm 以上の時に必要鉄筋量が最小鉄筋量になっている事に起因して、橋脚高が 5 m の時と 10m の時とで必要鉄筋量が逆転しており、しかも双方とも外形寸法が大きくなるにともない必要鉄筋量も増加しているのがわかる。

< 3 種地盤 >

- ① 図-3.2.10 より、橋脚高が 5 m の時は 1, 2 種地盤の時と同様に外形寸法が約 3000mm 位迄は保有水平耐力法にて必要鉄筋量が決まり、外形寸法がそれ以上の場合は最小鉄筋量が必要鉄筋量になる。それに対し、図-3.2.11 より橋脚高が 10m の時は外形寸法が約 3700mm 位迄、橋脚高が 15m の時は図-3.2.12 からわかる様に外形寸法が 4400mm 位迄は保有水平耐力法にて必要鉄筋量が決定されるが、それ以上の場合は最小鉄筋量が必要鉄筋量となる。
- ② 図-3.2.13 より橋脚高が 5 m の場合は外形寸法が何れの場合も設計可能であった。それに対し、橋脚高が 10m の時は外形寸法が約 2800mm 以上の時に、橋脚高が 15m の

時は外形寸法が約 3500mm 以上の時に設計可能となる。

また、外形寸法が約 4000mm 以上の時に必要鉄筋量が最小鉄筋量になっている事に起因して、橋脚高が 5 m の時と 10m 時とで必要鉄筋量が逆転しており、しかも双方とも外形寸法が大きくなるにともない必要鉄筋量が増加しているのがわかる。その上 3 種地盤の場合は、橋脚高が 15m で外形寸法が 4500mm の時も最小鉄筋量が必要鉄筋量となる。

橋脚高5m(1種地盤)

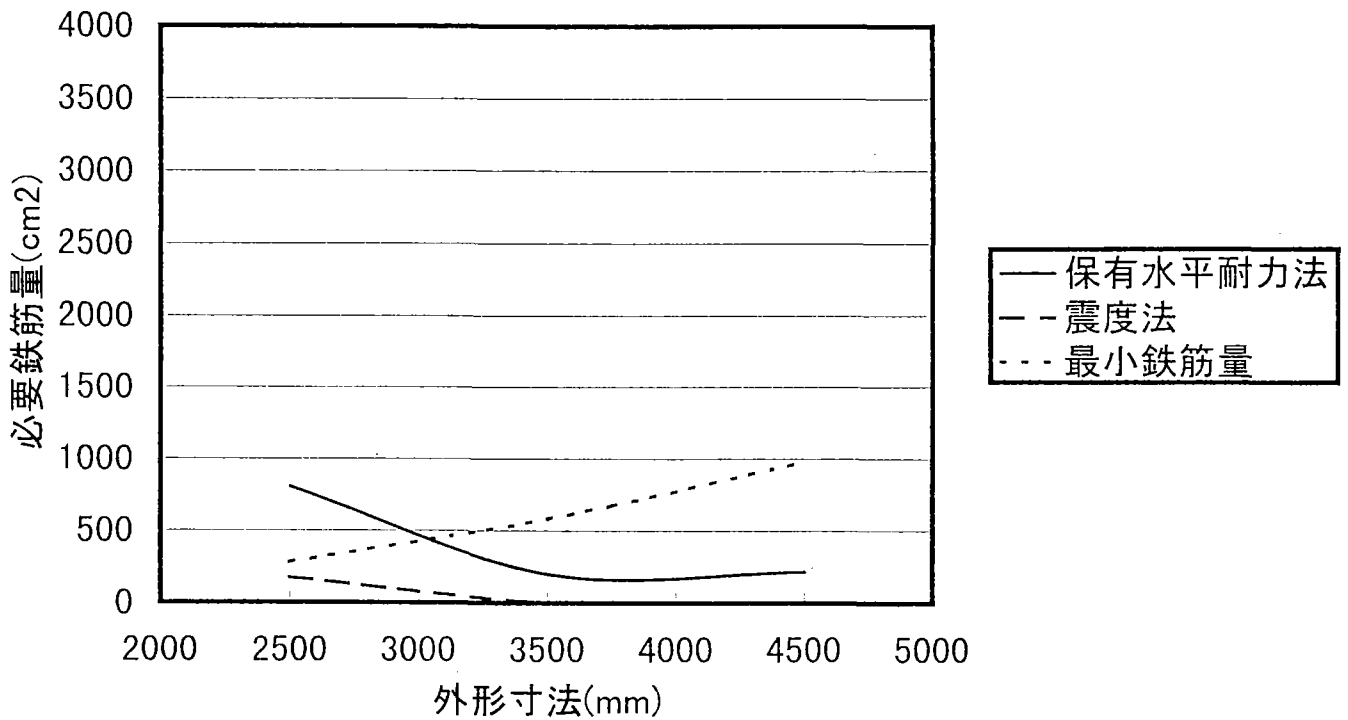


図-3. 2. 2 外形寸法と必要鉄筋量の関係 (1種地盤-橋脚高5m)

橋脚高10m(1種地盤)

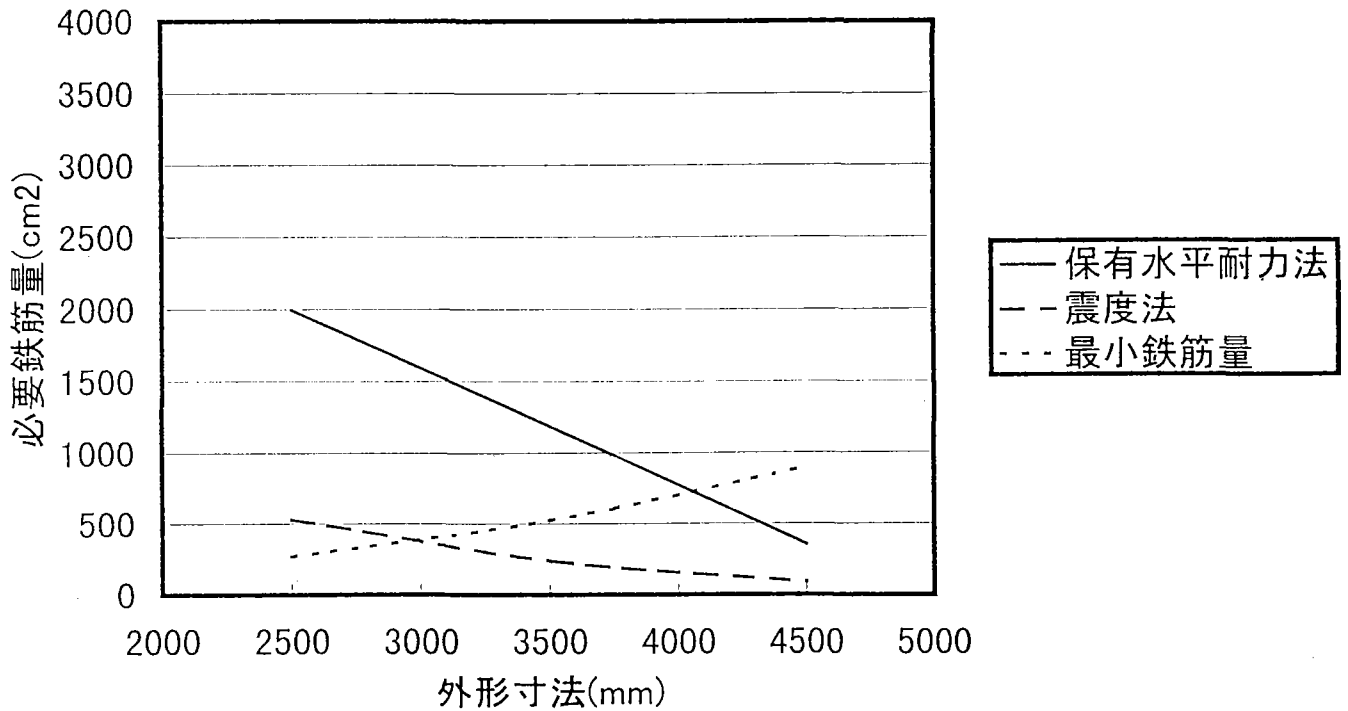


図-3. 2. 3 外形寸法と必要鉄筋量の関係 (1種地盤-橋脚高10m)

橋脚高15m(1種地盤)

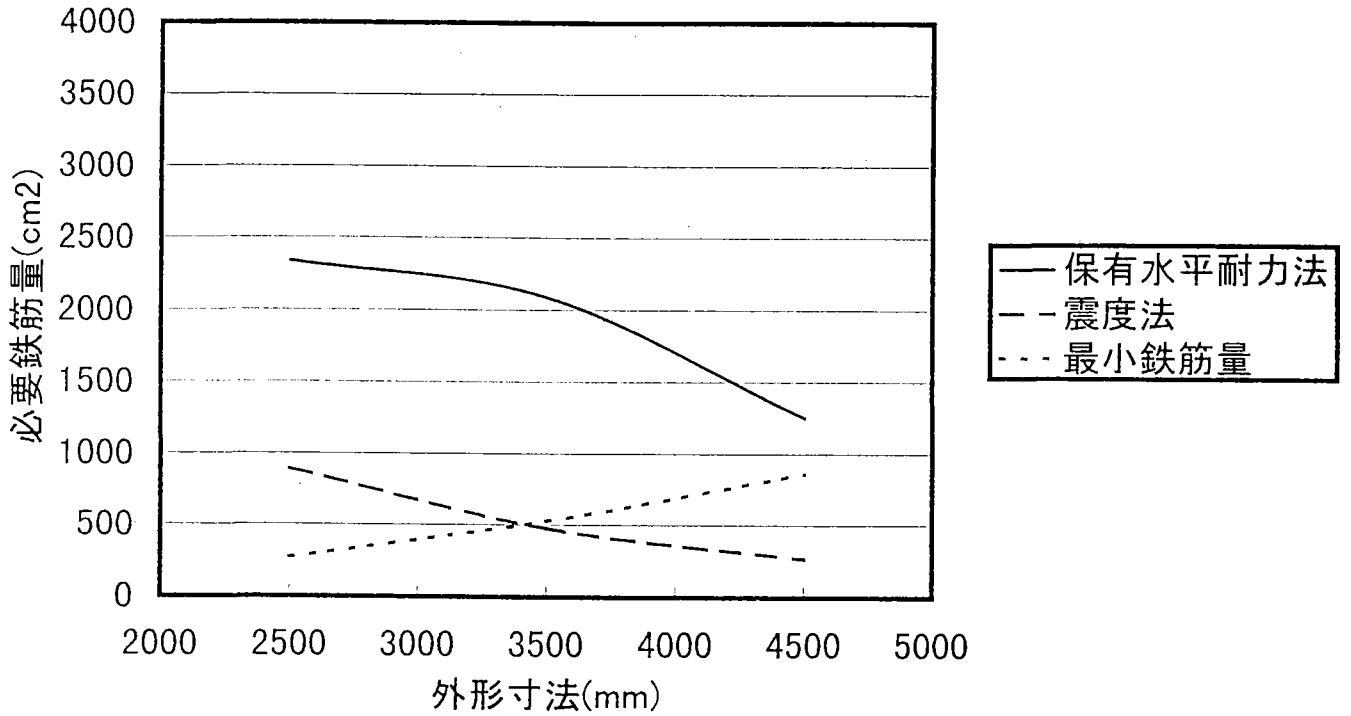


図-3.2.4 外形寸法と必要鉄筋量の関係(1種地盤-橋脚高15m)

外形寸法と必要鉄筋量の関係(1種地盤)

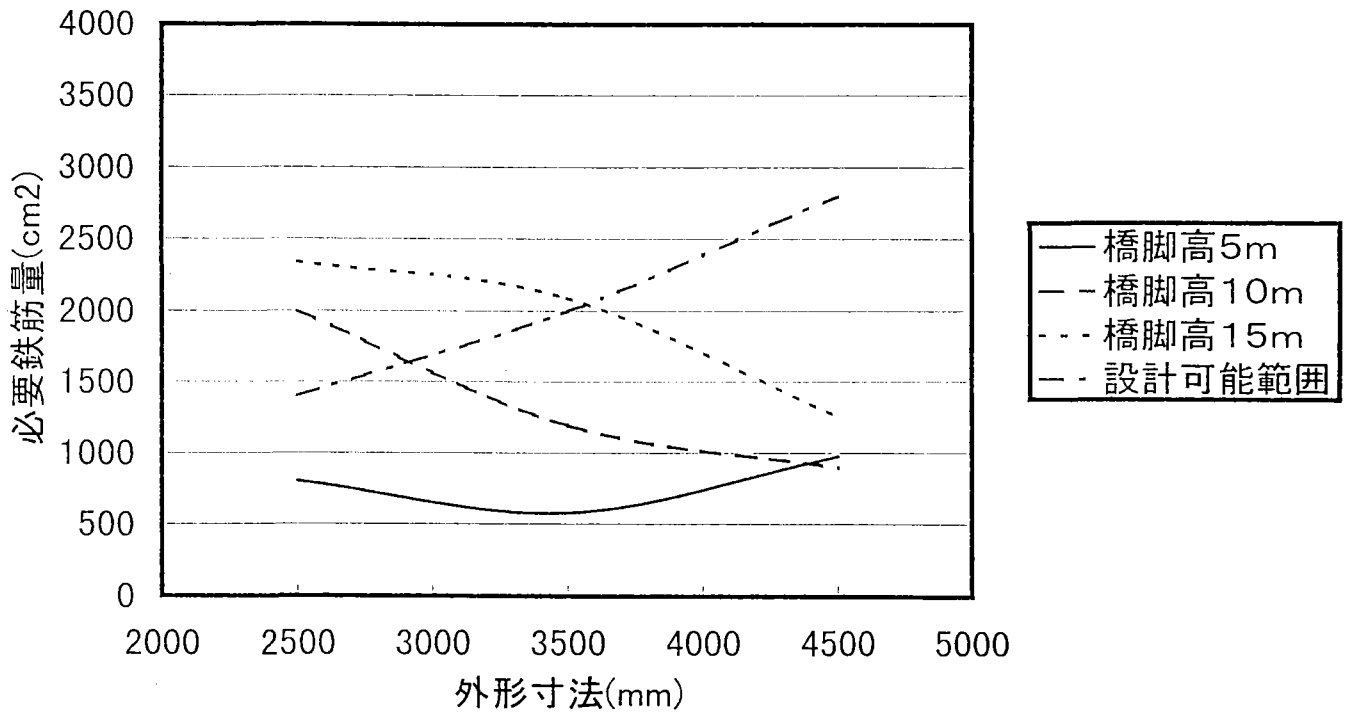


図-3.2.5 試設計結果(1種地盤)

橋脚高5m(2種地盤)

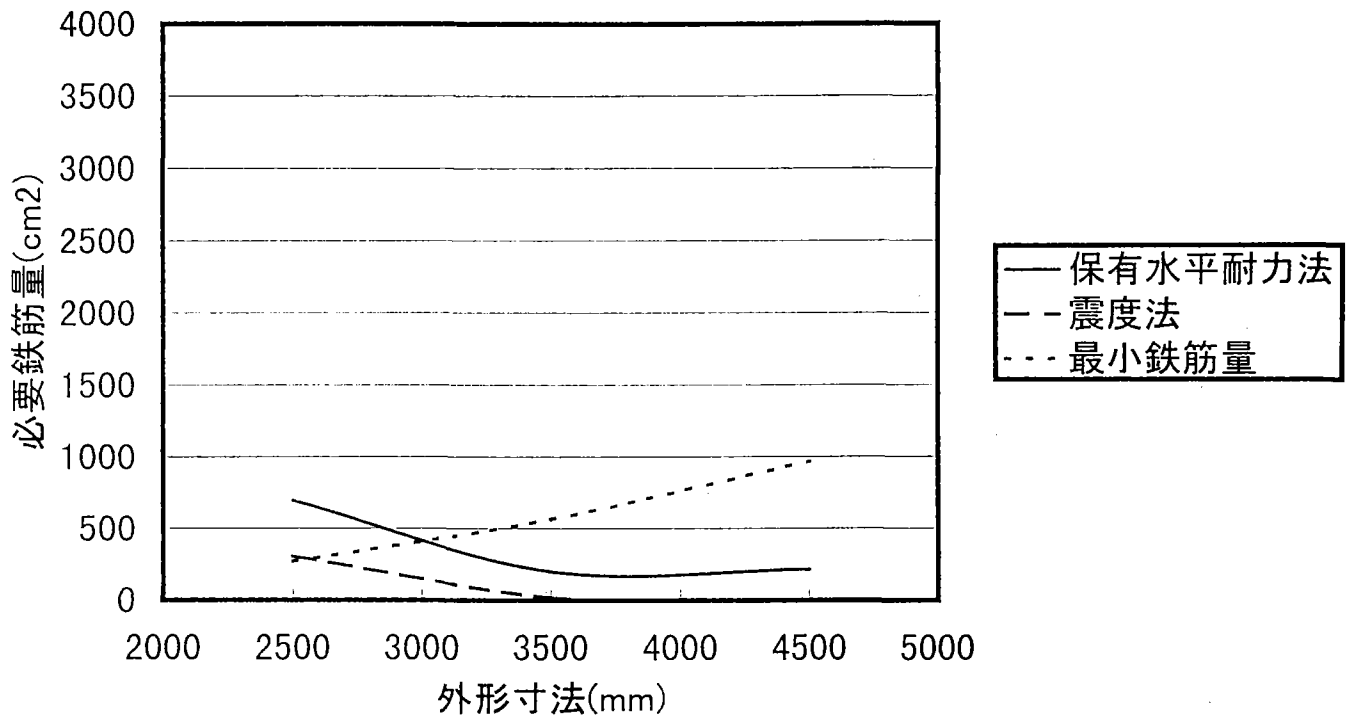


図-3. 2. 6 外形寸法と必要鉄筋量の関係 (2種地盤-橋脚高5m)

橋脚高10m(2種地盤)

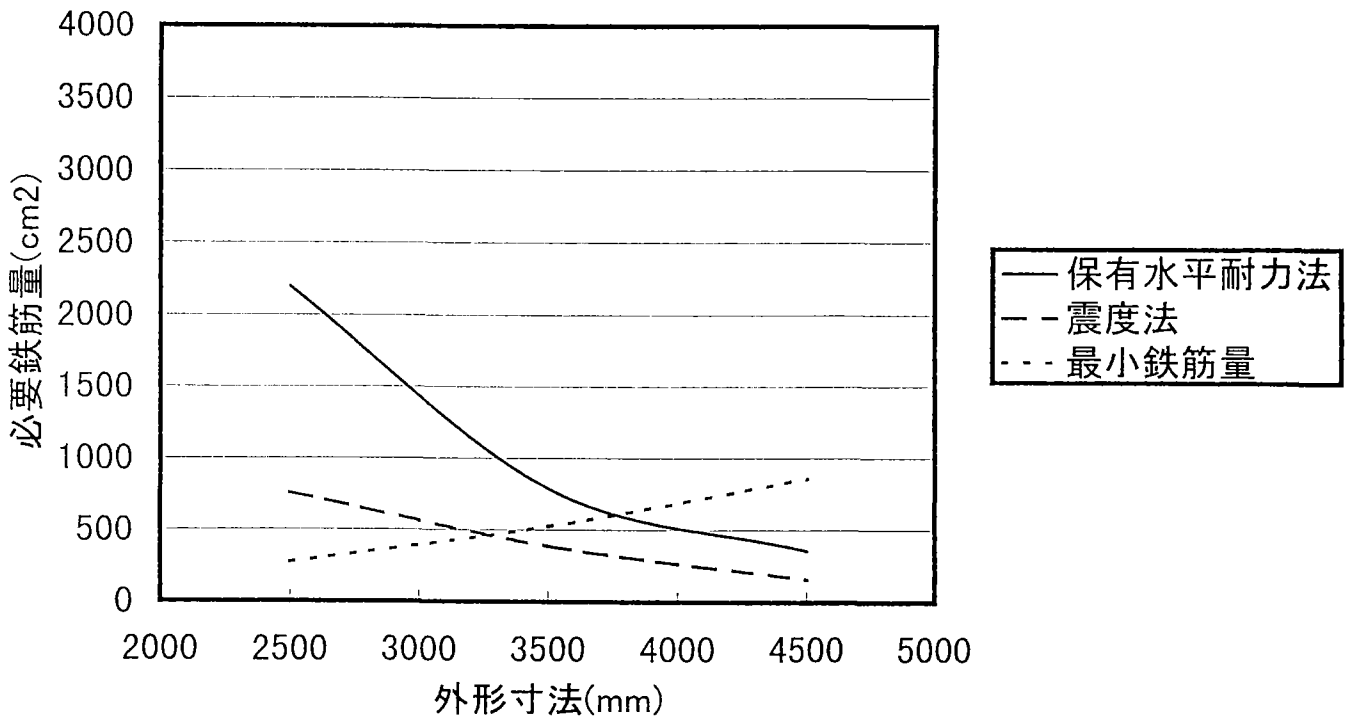


図-3. 2. 7 外形寸法と必要鉄筋量の関係 (2種地盤-橋脚高10m)

橋脚高15m(2種地盤)

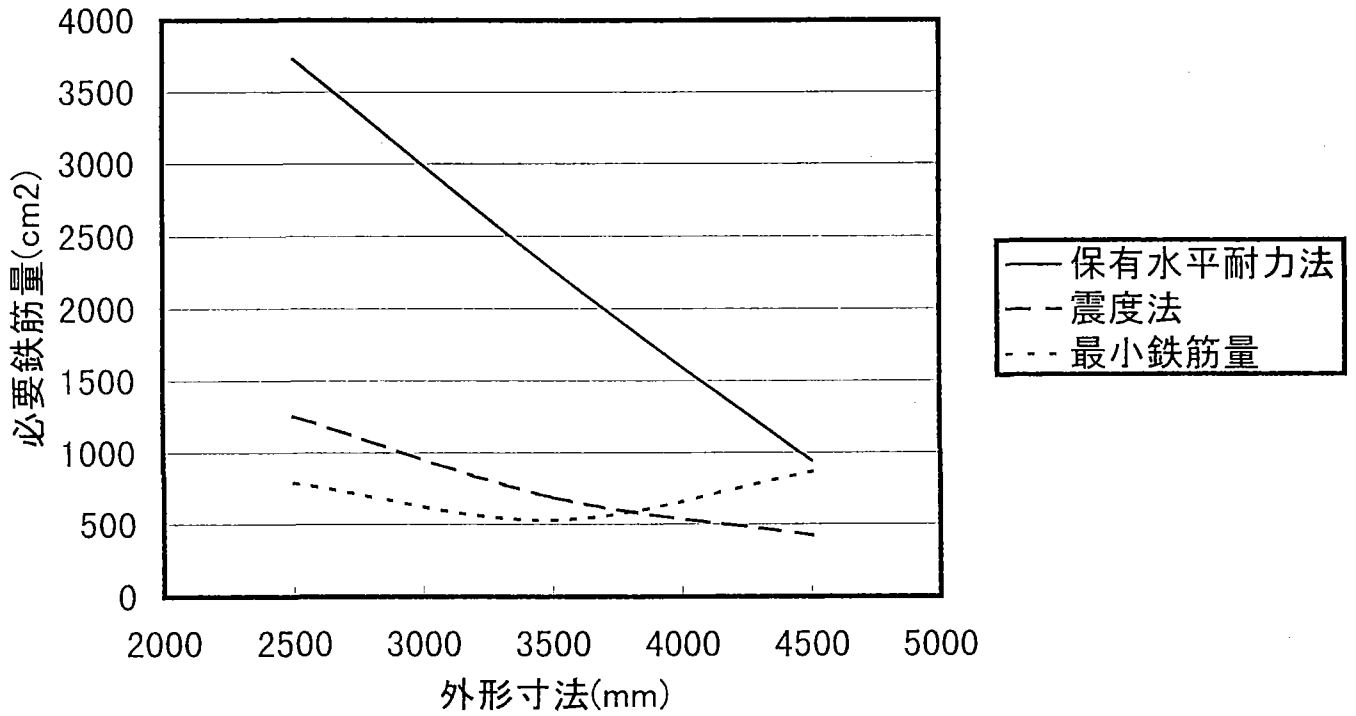


図-3. 2. 8 外形寸法と必要鉄筋量の関係 (2種地盤-橋脚高15m)

外形寸法と必要鉄筋量の関係(2種地盤)

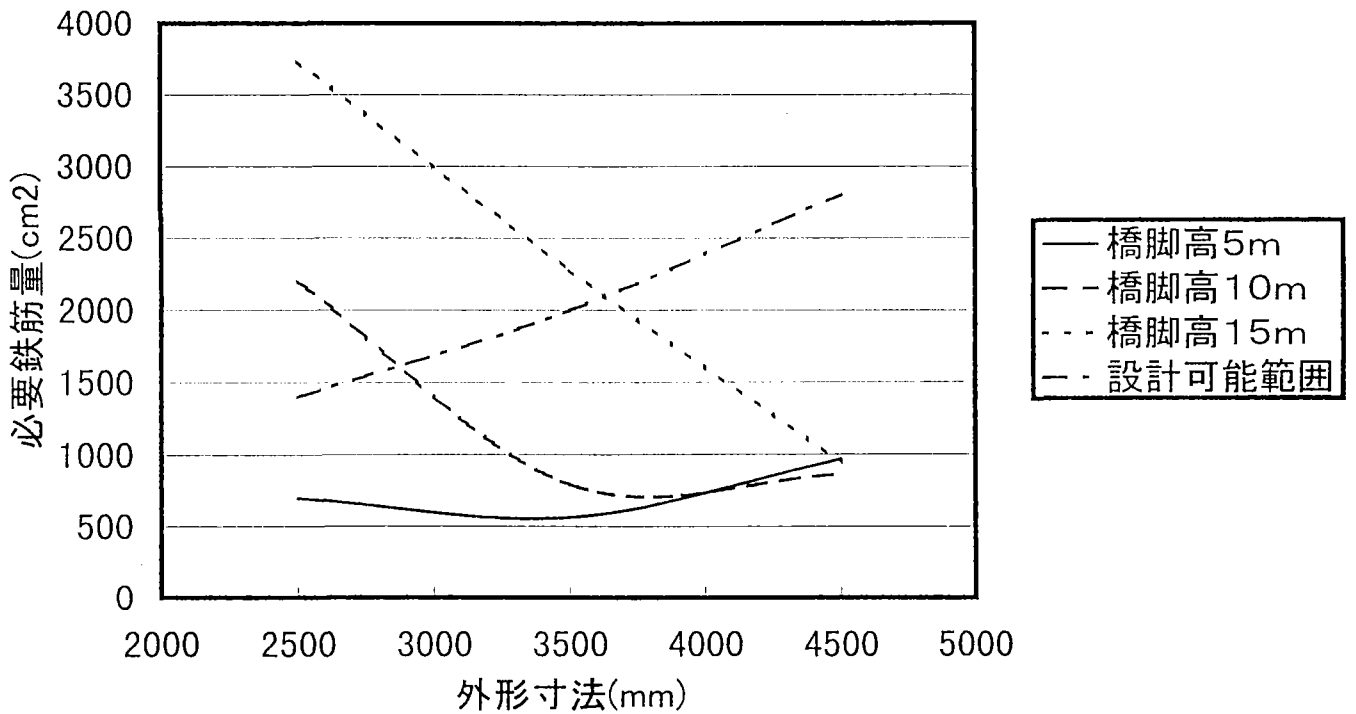


図-3. 2. 9 試設計結果 (2種地盤)

橋脚高5m(3種地盤)

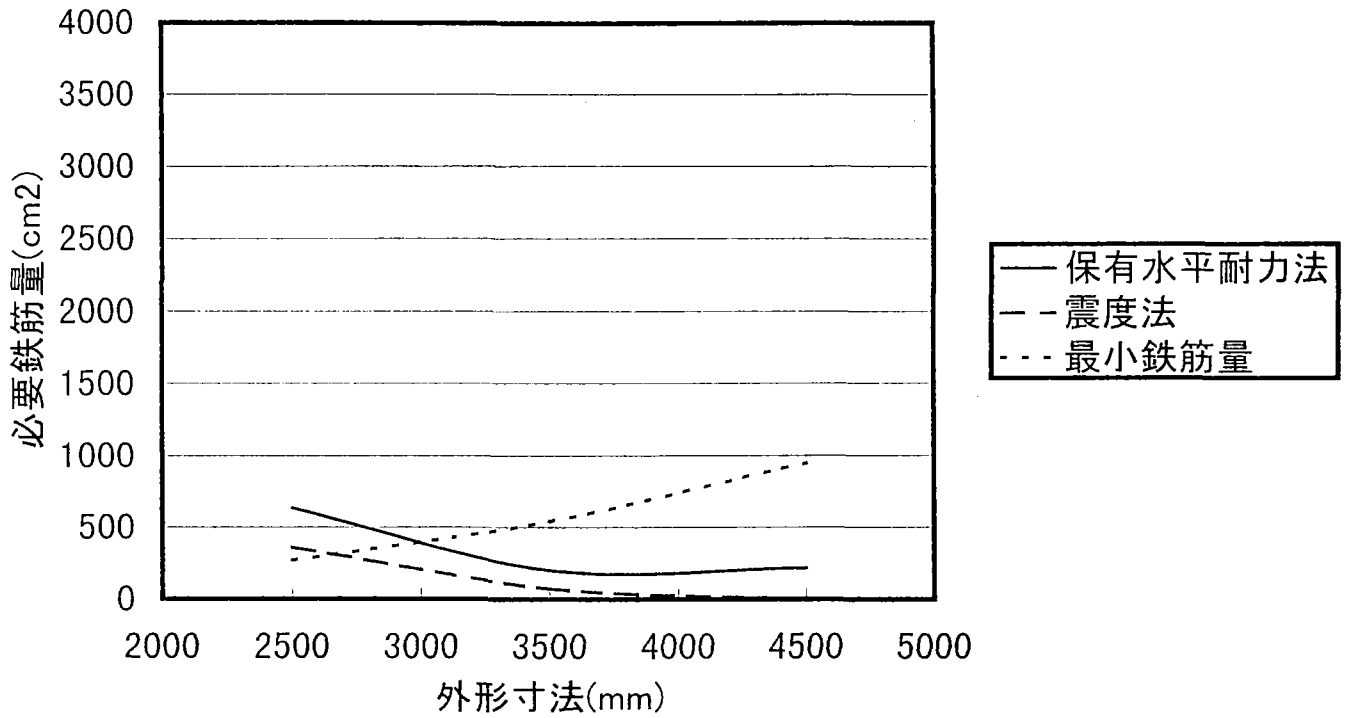


図-3. 2. 10 外形寸法と必要鉄筋量の関係 (3種地盤-橋脚高5m)

橋脚高10m(3種地盤)

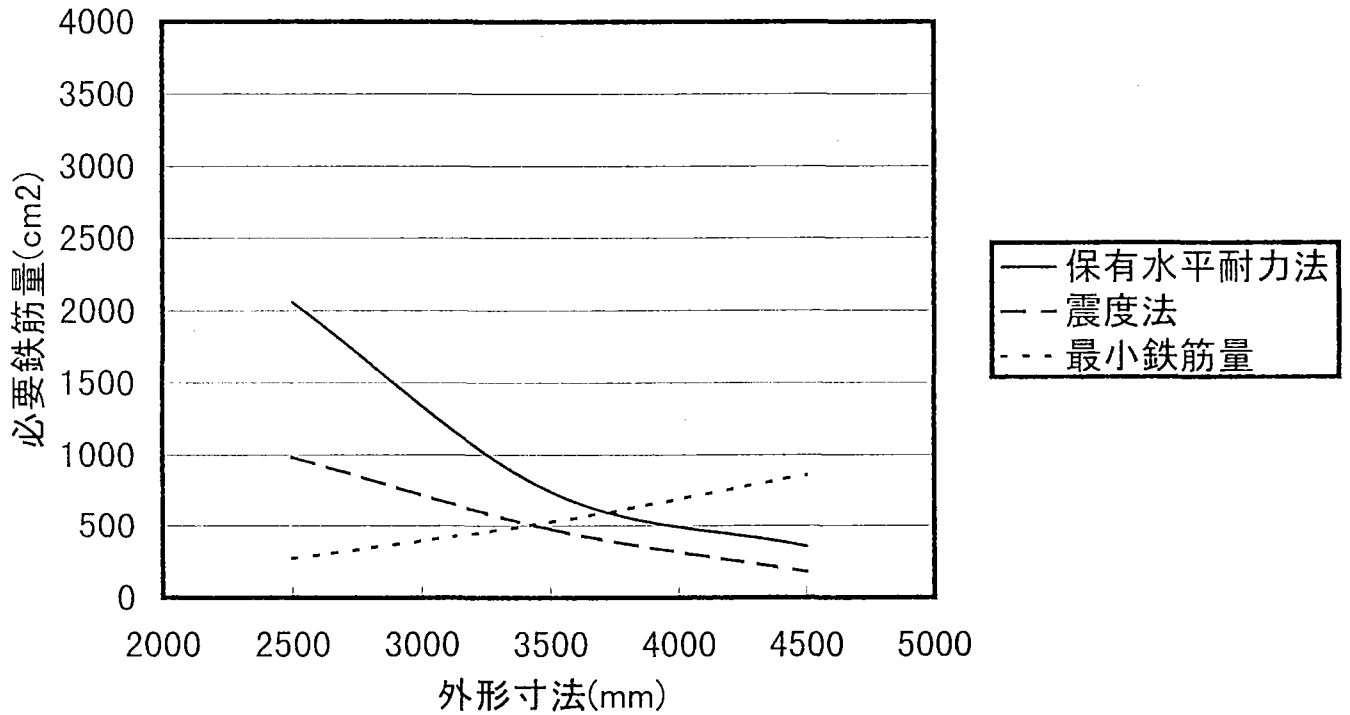


図-3. 2. 11 外形寸法と必要鉄筋量の関係 (3種地盤-橋脚高10m)

橋脚高15m(3種地盤)

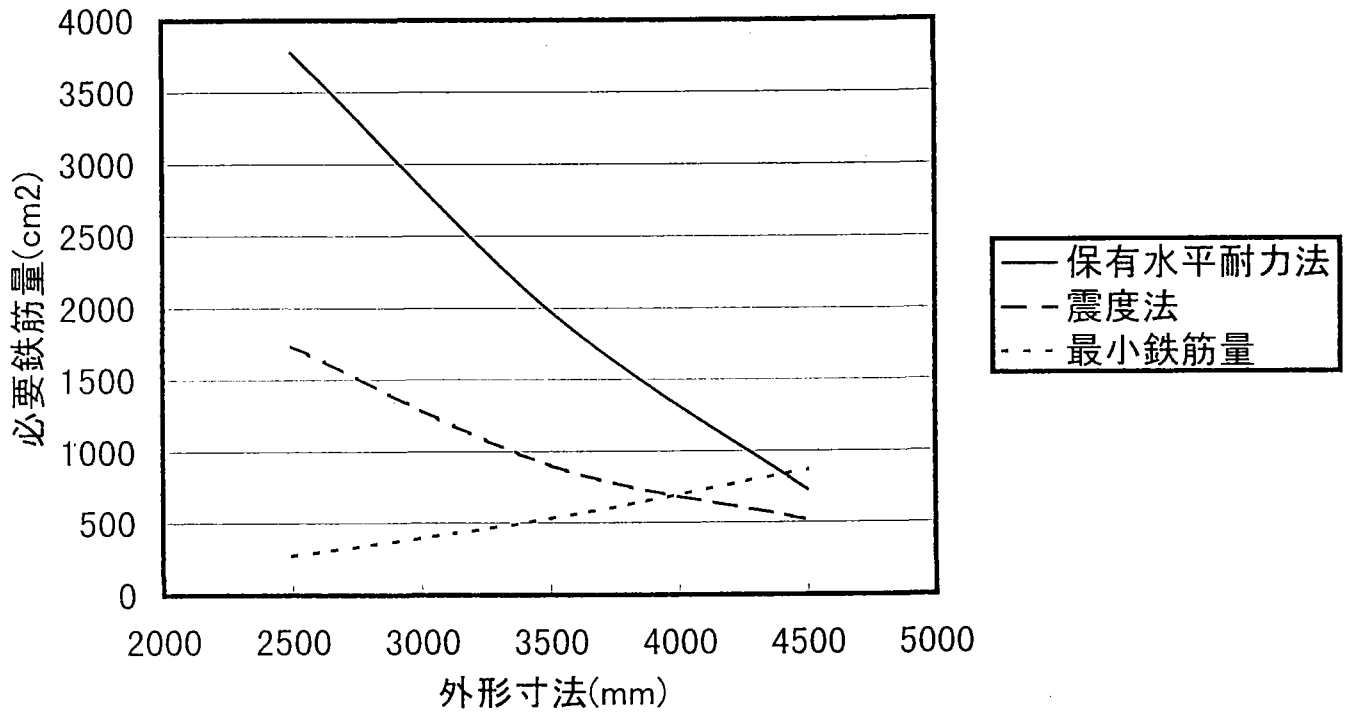


図-3. 2. 1 2 外形寸法と必要鉄筋量の関係 (3種地盤-橋脚高15m)

外形寸法と必要鉄筋量の関係(3種地盤)

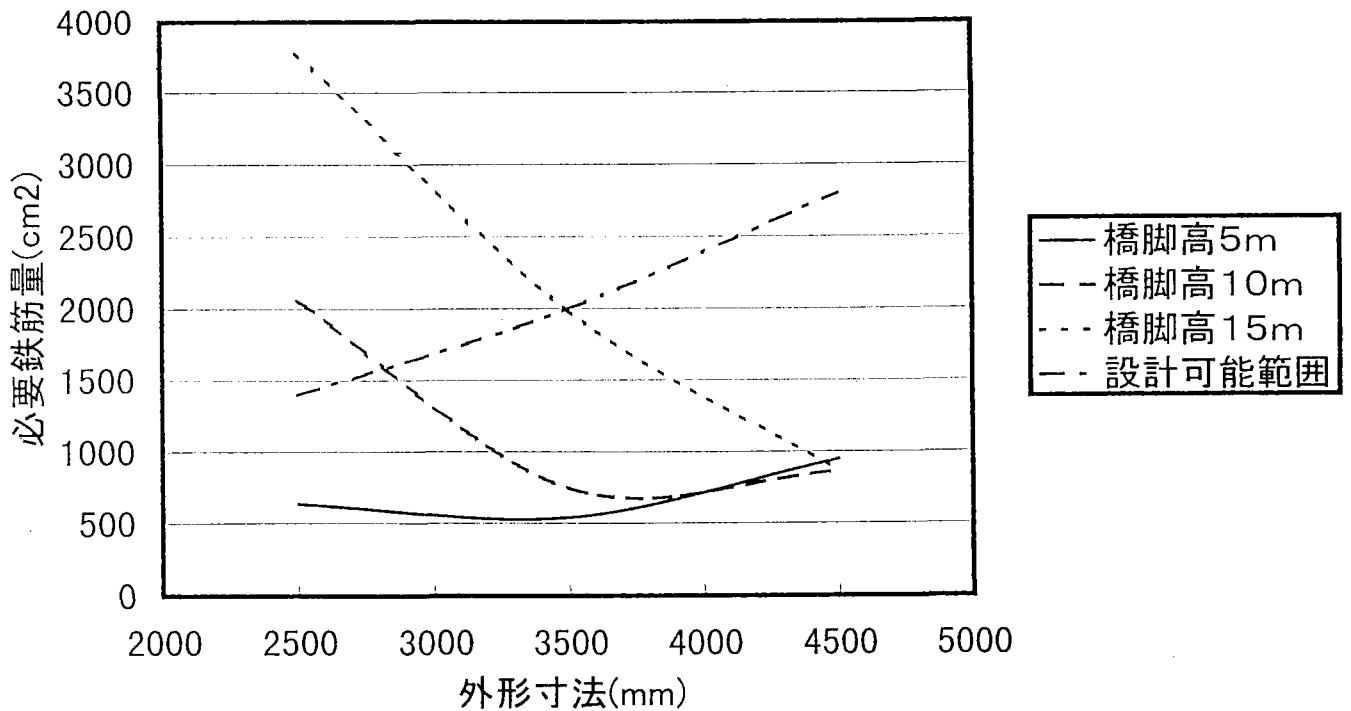


図-3. 2. 1 3 試設計結果 (3種地盤)

(C) 鋼製橋脚の比較試設計

(I) 設計条件

鋼製橋脚の設計条件を以下に示す。

①上部工…前節のコンクリート橋脚と同一とする。

②下部工

橋脚：T型鋼製橋脚

基礎：基盤剛支持

コンクリート：7-チング ($\sigma_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2$)

中埋めコンクリート ($\sigma_{ck} = 160\text{kgf/cm}^2$)

③上部工反力（鉛直方向）、…前節のコンクリート橋脚と同一。

④重要度区分及び地域区分 … ”

⑤地盤条件

地盤種別：I～II種地盤

⑥支点条件 …前節のコンクリート橋脚と同一。

⑦その他

適用基準…道路橋示方書Ⅱ 鋼橋編 平成8年12月

道路橋示方書Ⅴ 耐震設計編 平成8年12月

設計水平震度

…震度法では、各地盤の上限値となる値とする。

$K_{he}=0.20$ (0.25) I種 (II種)

…地震時保有水平耐力法（タイプⅠ、Ⅱ）では地盤の変形を無視して算出する。

(II) 比較試設計

対象とした鋼製橋脚は、断面を一定としコンクリートを充填した新設橋脚である。

道示（地震時保有水平耐力法による照査）を適用して設計条件が異なる数種類の橋脚に対して試設計を行い、現状では明確化されていない鋼製橋脚の構造特性の比較検討を行う。

構造形式はT形橋脚とし柱断面は正方形断面を採用する。橋脚高さ、外形寸法を変えた9種類の橋脚に対して、震度法、地震時保有水平耐力法レベルの設計、照査を行う。図-3.2.14には対象とした橋脚の構造図を表-3.2.2には各設計対象諸元を示す。

各レベルの設計方針は下記とする。

震度法による設計の場合、荷重ケースを常時、地震時（橋軸方向、橋軸直角方向）に設定して断面を決定する。この場合、充填コンクリートの効果は無視して鋼製橋脚として設計する。板厚は、局部座屈に対する許容応力度が上限値となる範囲とした。

地震時保有水平耐力法（タイプⅠ、Ⅱ）による照査では、制御断面位置（塑性ヒンジ位置）が橋脚基部となるように、断面及びコンクリート充填高を設定する。なお、柱断面は橋脚基部から橋脚上部まで同一とする。地震時保有水平耐力の照査で橋脚の地震時保有水平耐力 $P_a \geq K_{he} \cdot W$ （ここで、 K_{he} ：地震時保有水平耐力法に用いる等価水平震度、 W ：地震時保有水平耐力法に用いる等価重量）、なら安全とし、これを満たさない場合はコンクリート充填高さの調整または、断面の増大を行う。また、コンクリートの充填高さは、コンクリート直上の鋼断面の降伏水平耐力 P_{ys} が橋脚基部の終局水平耐力 P_u を上回るように設定する。（ $P_{ys} > P_u$ 、道示Ⅴ 10.2.2）なお、必要充填高さが橋脚躯体基部から横梁付け根の下端までの高さを超える場合は、横梁付け根までコンクリートを充填する。

(Ⅲ) 比較試設計に対する考察

地盤種別、断面毎の試設計結果を表-3.2.3～3.2.8に示す。

<基部断面>

地震時保有水平耐力法の基部耐力照査で断面が決まるのは、Ⅰ種地盤では無く、Ⅱ種地盤では外形寸法が2.0x2.0mで高さが15.0mの1ケースであった。また、基部耐力不足により断面構成不可能となったケースはⅡ種地盤の断面サイズが1.5mで高さが10.0m、15.0mの2ケースであった。

Ⅱ種地盤では、固有周期が1.0(s)を越える断面に対して地震時保有水平耐力照査で断面が決まる傾向にある。

なお、橋脚高が5.0mの場合は両地盤共に震度法レベル(常時)で断面が決定される。

<地震時保有水平耐力法の照査による評価>

それぞれの試設計結果について地盤種別の充填コンクリート高、鋼断面積、基部耐力 P_a 、許容塑性率の関係を図-3.2.15～3.2.18に示す。ここでは、地震時保有水平耐力照査において支配的となるタイプⅡの橋軸直角方向についての結果を示してある。

① コンクリート充填高と橋脚高(図-3.2.15)

外形寸法が1.5x1.5の場合、震度法で決定した板厚が厚く、充填コンクリート直上の鋼断面の降伏水平耐力が大きいためコンクリート充填高を他の外形寸法モデルに比べ低く抑える事ができるものと考えられる。今回の試設計結果では橋脚高さが10m以上となった場合に地震時保有水平耐力法による照査の影響が強くなると考えられる。

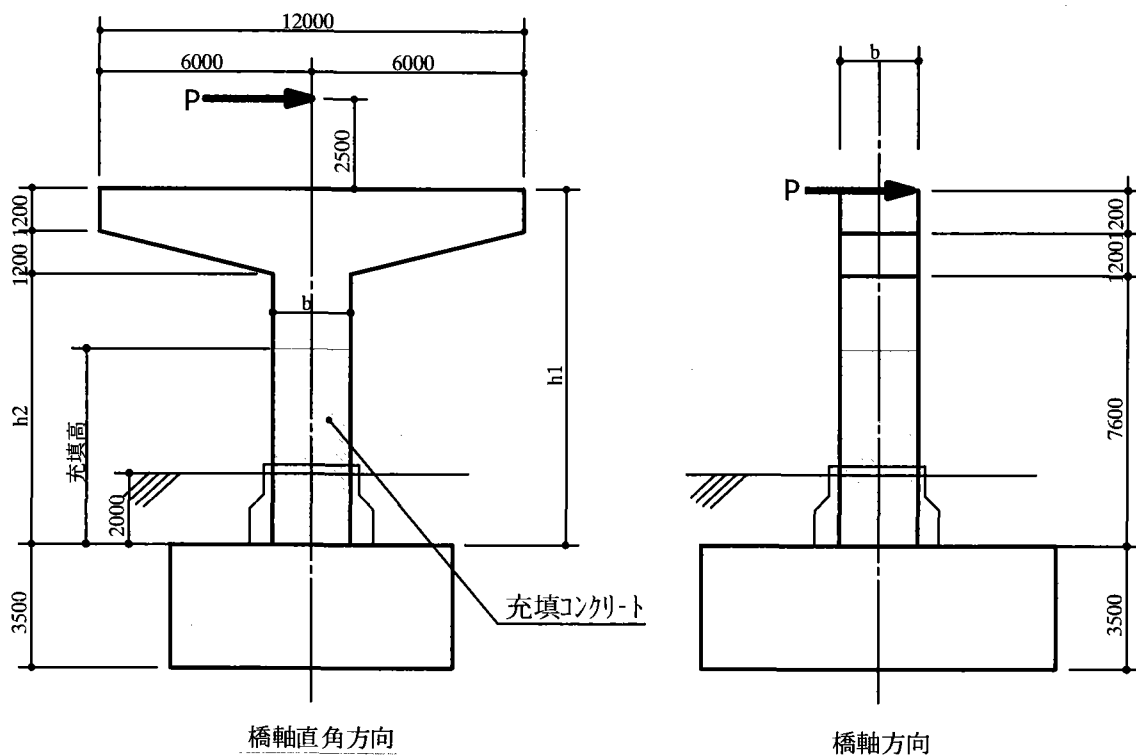
② 鋼断面積と橋脚高(図-3.2.16)

今回の試設計では、Ⅰ種地盤では鋼断面積は橋脚高に関わらず、ほぼ一定の値をとる。Ⅱ種地盤では、断面構成可能な橋脚について外形寸法が2.0x2.0の場合、橋脚高が10m以上で地震時保有水平耐力法による照査で板厚の増大を必要とする。

③ 基部耐力と橋脚高、許容塑性率と橋脚高(図-3.2.17及び3.2.18)

基部耐力、許容塑性率共に橋脚高に比例して小さくなる傾向がある。基部耐力は、両地盤共に断面構成可能な外形寸法2.0x2.0、2.5x2.5のケースでは橋脚高が15mの時に一致する傾向にある。

鋼製橋脚設計対象



- 注1) P : 慣性力作用位置 (橋軸直角方向 : 床版下面位置=脚天端+2500 mm, 橋軸方向 : 脚天端)
 注2) 充填コンクリートは震度法レベルの場合路面より2000 mmの高さまで充填する。
 (脚高が5 mの場合は横梁の付け根までとする)

図 - 3. 2. 14 検討対象

表 - 3. 2. 2 寸法諸元

寸法パラメータ (mm)

橋脚高 H(m)	断面 (b × b) b	h1	h2
5.0	1,500	5,000	2,600
	2,000	5,000	2,600
	2,500	5,000	2,600
10.0	1,500	10,000	7,600
	2,000	10,000	7,600
	2,500	10,000	7,600
15.0	1,500	15,000	12,600
	2,000	15,000	12,600
	2,500	15,000	12,600

表-3.2.3 試設計結果

I種地盤:断面1.5×1.5m		橋脚高 5.0 m		橋脚高 10.0 m		橋脚高 15.0 m			
		震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル		
断面	Flg. Web厚 Rib 材質 充填コンクリート高	36, 34 200*19 SM490Y 2600(横梁付け根)		34, 32 200*19 SM490Y 4000		36,36 200*19 SM490Y 4000			
保有水平耐力照査	等価固有周期 橋軸(橋直) (S)	0.22 (0.42)		0.67 (1.05)		1.02 (1.47)			
橋軸方向	タイプ I	応答塑性率 μR	0.65		1.05		1.12		
		許容塑性率 μa	3.17		2.99		2.05		
		基部耐力 Khe・W (tf) (Khe・W<Pa) Pa (tf)	225.9 860.7 ok		229.0 411.8 ok		232.8 375.7 ok		
		コンクリート直上耐力 Pys (tf) (Pys>Pu) Pu (tf)	- 978.1 ok		544.8 472.1 ok		812.9 394.8 ok		
		残留変位 δR (mm) δRa (mm)	2.0 50.0 ok		1.3 100.0 ok		6.4 150.0 ok		
		タイプ II	応答塑性率 μR	1.13		4.46		2.28	
	許容塑性率 μa		5.07		4.71		3.05		
	基部耐力 Khe・W (tf) (Khe・W<Pa) Pa (tf)		299.3 919.4 ok		394.9 442.0 ok		314.3 385.2 ok		
	コンクリート直上耐力 Pys (tf) (Pys>Pu) Pu (tf)		- 978.1 ok		544.8 472.1 ok		812.9 394.8 ok		
	残留変位 δR (mm) δRa (mm)		0.7 50.0 ok		86.5 100.0 ok		70.6 150.0 ok		
	橋軸直角方向		タイプ I	応答塑性率 μR	1.00		1.92		1.90
		許容塑性率 μa		3.54		2.98		2.05	
基部耐力 Khe・W (tf) (Khe・W<Pa) Pa (tf)		312.6 584.6 ok		307.6 336.0 ok		311.5 322 ok			
コンクリート直上耐力 Pys (tf) (Pys>Pu) Pu (tf)		- 659.5 ok		394.4 382.2 ok		573.8 338.4 ok			
残留変位 δR (mm) δRa (mm)		0.0 75.0 ok		34.2 125.0 ok		66.3 175.0 ok			
タイプ II		応答塑性率 μR		4.16		4.11		2.13	
		許容塑性率 μa	5.78		4.70		3.06		
		基部耐力 Khe・W (tf) (Khe・W<Pa) Pa (tf)	484.5 622.1 ok		307.6 359.1 ok		311.5 330.2 ok		
		コンクリート直上耐力 Pys (tf) (Pys>Pu) Pu (tf)	- 622.1 ok		394.4 382.2 ok		573.8 338.4 ok		
		残留変位 δR (mm) δRa (mm)	32.1 75.0 ok		116.5 125.0 ok		83.0 175.0 ok		
		備考	震度法レベルと地震時保有水平耐力レベルは同断面						

表-3.2.4 試設計結果

I種地盤:断面2.0×2.0m		橋脚高 5.0 m		橋脚高 10.0 m		橋脚高 15.0 m		
		震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	
断面	Flg、Web厚 Rib 材質 充填コンクリート高	23, 23 200*19 SM490Y 2600(横梁付け根)		23, 23 200*19 SM490Y 4000 4800		23, 23 200*19 SM490Y 4000 6700		
保有水平耐力照査	等価固有周期 橋軸(橋直) (S)	0.16 (0.31)		0.48 (0.77)		0.90 (1.32)		
橋軸方向	タイプ I	応答塑性率 μR	0.60		0.78		1.09	
		許容塑性率 μa	3.07		2.83		2.77	
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	228.5		232.3		234.1	
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	1239.6 ok		619.7 ok		413.5 ok	
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		775.3		414.2	
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	1456.4 ok		728.1 ok		485.7 out	
		残留変位 δR (mm)	1.7		4.2		3.8	
	タイプ II	δRa (mm)	50.0 ok		100.0 ok		150.0 ok	
		応答塑性率 μR	0.78		2.37		2.63	
		許容塑性率 μa	4.80		4.36		4.26	
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	257		418.1		304.3	
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	1348 ok		673.9 ok		449.6 ok	
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		775.3		414.2	
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	1456.4 ok		728.1 ok		485.7 out	
橋軸直角方向	タイプ I	残留変位 δR (mm)	0.9		26.20		73.0	
		δRa (mm)	50.0 ok		100.0 ok		150.0 ok	
		応答塑性率 μR	0.78		1.21		1.85	
		許容塑性率 μa	3.55		2.91		2.79	
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	307.2		311.0		312.7	
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	826.4 ok		495.8 ok		354.4 ok	
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		547.3		259.8	
	タイプ II	($Pys > Pu$) Pu (tf)	970.9 ok		582.5 out		416.3 out	
		残留変位 δR (mm)	1.7		6.0		51.4	
		δRa (mm)	75.0 ok		125.0 ok		175.0 ok	
		応答塑性率 μR	2.34		4.43		2.41	
		許容塑性率 μa	5.70		4.51		4.30	
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	476.1		482.0		312.7	
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	898.7 ok		539.2 ok		385.4 ok	
タイプ I	コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		547.3		259.8		
	($Pys > Pu$) Pu (tf)	970.9 ok		582.5 out		416.3 out		
	残留変位 δR (mm)	10.3		99.0		84.8		
	δRa (mm)	75.0 ok		125.0 ok		175.0 ok		
	応答塑性率 μR	2.34		4.43		2.41		
	許容塑性率 μa	5.70		4.51		4.30		
	基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	476.1		482.0		312.7		
($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	898.7 ok		539.2 ok		385.4 ok			
備考	震度法レベルと地震時保有水平耐力レベルは同じ断面		地震保有水平耐力照査により 充填コンクリート高up		地震保有水平耐力照査により 充填コンクリート高up			

表-3.2.5 試設計結果

I 種地盤: 断面2.5×2.5m		橋脚高 5.0 m		橋脚高 10.0 m		橋脚高 15.0 m			
		震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル		
断面	Flg、Web厚 Rib 材質 充填コンクリート高	23, 23 200*19 SM490Y 2600(横梁付け根)		23, 23 200*19 SM490Y 4000 4800		23, 23 200*19 SM490Y 4000 12300			
保有水平耐力照査	等価固有周期 橋軸(橋直) (S)	0.11 (0.21)		0.34 (0.54)		0.34 (0.54)			
橋軸方向	タイプ I	応答塑性率 μR	0.58		0.65		0.80		
		許容塑性率 μa	3.20		2.93		2.85		
		基部耐力 Khe・W (tf)	231.4		228.3		239.8		
		(Khe・W<Pa) Pa (tf)	1977.8 ok		991.4 ok		632.5 ok		
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		1248.8		588.8		
		(Pys>Pu) Pu (tf)	2367.1 ok		1185.8 ok		755.4 out		
	タイプ II	残留変位 δR (mm)	1.4		5.2		7.0		
		δRa (mm)	50.0 ok		100.0 ok		150.0 ok		
		応答塑性率 μR	0.66		1.34		2.42		
		許容塑性率 μa	5.01		4.52		4.37		
		基部耐力 Khe・W (tf)	231.4		423.0		431.7		
		(Khe・W<Pa) Pa (tf)	2172.5 ok		1088.6 ok		693.9 ok		
	橋軸直角方向	タイプ I	コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		1248.8		588.8	
			(Pys>Pu) Pu (tf)	2367.1 ok		1185.8 ok		755.4 out	
			残留変位 δR (mm)	1.1		5.00		49.5	
			δRa (mm)	50.0 ok		100.0 ok		150.0 ok	
			応答塑性率 μR	0.65		0.83		1.14	
			許容塑性率 μa	3.72		3.01		2.86	
備 考		基部耐力 Khe・W (tf)	310.1		317.0		318.5		
		(Khe・W<Pa) Pa (tf)	1318.5 ok		793.2 ok		542.1 ok		
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		881.5		479.8		
		(Pys>Pu) Pu (tf)	1578.1 ok		948.6 out		647.5 out		
		残留変位 δR (mm)	2.1		3.9		6.5		
		δRa (mm)	75.0 ok		125.0 ok		175.0 ok		
		タイプ II	応答塑性率 μR	1.06		2.62		2.53	
		許容塑性率 μa	5.95		4.66		4.38		
		基部耐力 Khe・W (tf)	372.1		546.8		382.2		
		(Khe・W<Pa) Pa (tf)	1448.3 ok		870.9 ok		594.8 ok		
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		881.5		479.8		
		(Pys>Pu) Pu (tf)	1578.1 ok		948.6 out		647.5 out		
残留変位 δR (mm)	0.3		36.3		71.9				
δRa (mm)	75.0 ok		125.0 ok		175.0 ok				
備 考		震度法レベルと地震時保有水平耐力レベルは同じ断面		地震保有水平耐力照査により充填コンクリート高up		地震保有水平耐力照査により充填コンクリート高up			

表-3.2.6 試設計結果

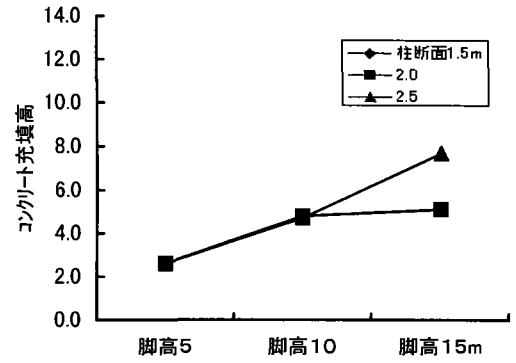
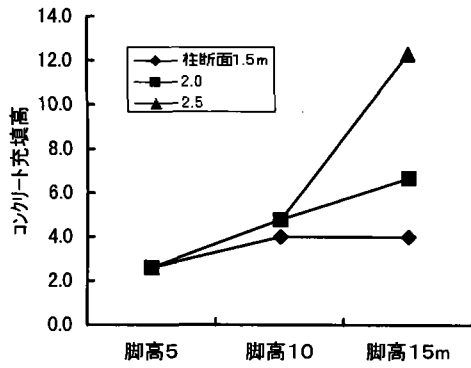
II種地盤:断面1.5×1.5m		橋脚高 5.0 m		橋脚高 10.0 m		橋脚高 15.0 m		
		震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	
断面	Fig、Web厚 Rib 材質 充填コンクリート高	36, 34 200*19 SM490Y 2600(橋梁付け根)		34, 32 200*19 SM490Y 4000		36, 36 200*19 SM490Y 4000		
保有水平耐力照査	等価固有周期 橋軸(橋直) (S)	0.22 (0.42)		0.67 (1.05)		1.20 (1.74)		
橋軸方向	タイプ I	応答塑性率 μR	0.70		1.29		1.44	
		許容塑性率 μa	3.17		2.99		1.55	
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	225.9		229.0		340.7	
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	860.7 ok		411.8 ok		364.1 ok	
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		544.9		425.4	
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	978.1		472.1 ok		378.9 ok	
	タイプ II	残留変位 δR (mm)	1.7		7.3		32.8	
		δRa (mm)	50.0 ok		100.0 ok		150.0 ok	
		応答塑性率 μR	0.86		3.55		4.38	
		許容塑性率 μa	5.07		4.71		2.09	
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	225.9		343.4		566.0	
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	919.4 ok		442.2 ok		371.5 out	
橋軸直角方向	タイプ I	コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		544.9		425.4	
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	978.1 ok		472.1 ok		378.9 ok	
		残留変位 δR (mm)	0.8		63.8		252.5	
		δRa (mm)	50.0 ok		100.0 ok		150.0 out	
		応答塑性率 μR	1.22		2.57		3.66	
		許容塑性率 μa	3.54		2.98		3.40	
	タイプ II	基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	312.6		307.6		309.7	
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	584.6 ok		336 ok		260.1 out	
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		384.6		346.6	
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	659.5 ok		382.2 ok		306 ok	
		残留変位 δR (mm)	2.3		58.7		205.5	
		δRa (mm)	75.0 ok		125.0 ok		175.0 out	
タイプ I	応答塑性率 μR	3.32		8.63		5.71		
	許容塑性率 μa	5.78		4.70		5.42		
	基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	422.0		461.4		309.7		
	($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	622.1 ok		359.1 out		283.1 out		
	コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		384.6		346.6		
	($Pys > Pu$) Pu (tf)	659.5 ok		382.2 ok		306.0 ok		
タイプ II	残留変位 δR (mm)	23.6		285.5		364.0		
	δRa (mm)	75.0 ok		125.0 out		175.0 out		
備考	震度法レベルと地震時保有水平耐力レベルは同じ断面			断面構成不可		断面構成不可		

表-3.2.7 試設計結果

II種地盤:断面2.0×2.0m		橋脚高 5.0 m		橋脚高 10.0 m		橋脚高 15.0 m	
		震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル
断面	Fig. Web厚 Rib 材質 充填コンクリート高	23, 23 200*19 SM490Y 2600(橋梁付け根)		23, 23 200*19 SM490Y 4000 4800		23, 23 200*19 SM490Y 4000 5100	
保有水平耐力照査		等価固有周期 橋軸(橋直) (S)	0.16 (0.31)	0.48 (0.77)	0.48 (0.77)	0.71 (1.03)	0.71 (1.03)
橋軸方向	タイプ I	応答塑性率 μ_R	0.63	0.90	0.90	0.88	0.89
		許容塑性率 μ_a	3.07	2.83	2.84	2.69	2.70
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	228.5	232.3	233.7	242.8	244.7
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	1239.6 ok	619.7 ok	620.1 ok	620.8 ok	621.1 ok
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-	760.3	877.5	683.8	760.0
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	1456.4 ok	728.1 ok	728.4 ok	698.0 out	621.0 ok
	タイプ II	残留変位 δR (mm)	1.6	2.0	1.9	4.9	4.7
		δRa (mm)	50.0 ok	100.0 ok	100.0 ok	150.0 ok	150.0 ok
		応答塑性率 μ_R	0.69	1.95	1.97	1.96	1.99
		許容塑性率 μ_a	4.80	4.36	4.39	4.18	4.20
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	228.5	365.8	368.1	384.8	381.9
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	1348.0 ok	673.9 ok	674.3 ok	659.4 ok	659.6 ok
橋軸直角方向	タイプ I	コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-	760.3	877.5	683.8	760.0
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	1456.4 ok	728.1 ok	728.4 ok	698.0 out	621.0 ok
		残留変位 δR (mm)	1.3	18.30	18.4	40.6	41.1
		δRa (mm)	50.0 ok	100.0 ok	100.0 ok	150.0 ok	150.0 ok
		応答塑性率 μ_R	0.89	1.52	1.53	1.38	1.39
		許容塑性率 μ_a	3.55	2.91	2.92	2.71	2.73
	タイプ II	基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	307.2	311.0	312.4	315.5	317.4
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	826.4 ok	495.8 ok	496.1 ok	532.1 ok	532.4 ok
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-	536.7	592.6	557.1	606.8
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	970.9 ok	582.5 out	582.7 ok	598.3 out	598.3 ok
		残留変位 δR (mm)	0.1	15.0	15.1	21.4	21.8
		δRa (mm)	75.0 ok	125.0 ok	125.0 ok	175.0 ok	175.0 ok
タイプ II	応答塑性率 μ_R	1.52	4.39	4.42	3.94	3.98	
	許容塑性率 μ_a	5.70	4.51	4.54	4.23	4.25	
	基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	345.5	482.0	484.2	504.8	507.8	
	($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	898.7 ok	539.2 ok	539.4 ok	565.2 ok	565.3 ok	
	コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-	536.7	592.6	557.1	606.8	
	($Pys > Pu$) Pu (tf)	970.9 ok	582.5 out	582.7 ok	598.3 out	598.3 ok	
備考	震度法レベルと地震時保有水平耐力レベルは同じ断面		地震保有水平耐力照査により 充填コンクリート高up		地震保有水平耐力照査により 断面大、充填高up		

表-3.2.8 試設計結果

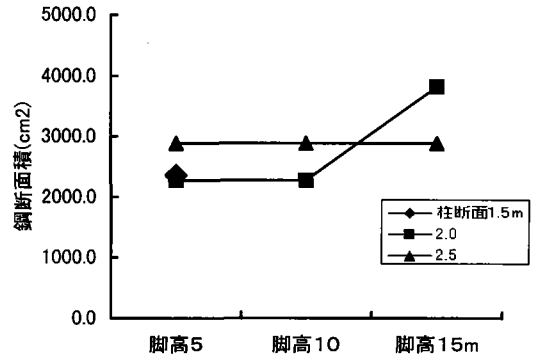
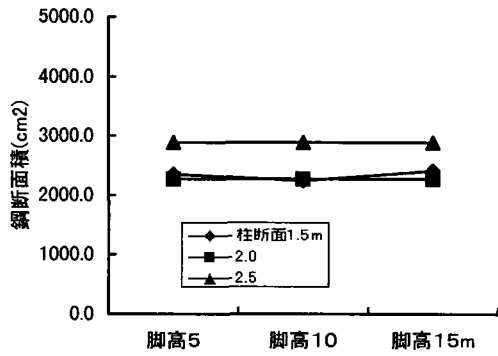
II種地盤:断面2.5×2.5m		橋脚高 5.0 m		橋脚高 10.0 m		橋脚高 15.0 m		
		震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	震度法レベル	地震時保有水平耐力レベル	
断面	Fig. Web厚 Rib 材質 充填コンクリート高	23, 23 200*19 SM490Y 2600(橋梁付け根)		23, 23 200*19 SM490Y 4000 4700		23, 23 200*19 SM490Y 4000 7700		
保有水平耐力照査	等価固有周期 橋軸(橋直) (S)	0.11 (0.21)		0.34 (0.54)	0.34 (0.54)	0.65 (0.95)	0.65 (0.94)	
橋軸方向	タイプ I	応答塑性率 μ_R	0.58		0.70	0.70	0.91	0.94
		許容塑性率 μ_a	3.20		2.93	2.95	2.85	2.92
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	231.4		238.3	240.3	239.8	250.2
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	1977.8 ok		991.4 ok	992.2 ok	632.5 ok	635.0 ok
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		1248.7	1413.9	588.9	1706.2
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	2367.1 ok		1185.8 ok	1186.4 ok	755.4 out	757.6 ok
		残留変位 δR (mm)	1.4		4.5	4.4	3.0	2.0
	δRa (mm)	50.0 ok		100.0 ok	100.0 ok	150.0 ok	150.0 ok	
	タイプ II	応答塑性率 μ_R	0.63		1.06	1.06	2.00	2.11
		許容塑性率 μ_a	5.01		4.52	4.54	4.37	4.49
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	231.4		327.6	330.3	377.7	387.8
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	2172.5 ok		1088.6 ok	1089.3 ok	693.9 ok	696.3 ok
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		1248.7	1413.9	588.9	1706.2
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	2367.1 ok		1185.8 ok	1186.4 ok	755.4 out	757.6 ok
残留変位 δR (mm)		1.2		0.90	4.4	34.7	37.1	
δRa (mm)	50.0 ok		100.0 ok	100.0 ok	150.0 ok	150.0 ok		
橋軸直角方向	タイプ I	応答塑性率 μ_R	0.69		0.95	0.96	1.42	1.47
		許容塑性率 μ_a	3.72		3.01	3.03	2.86	2.94
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	310.1		317.0	318.9	318.5	328.9
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	1318.5 ok		793.2 ok	793.7 ok	542.1 ok	544.3 ok
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		881.5	960.8	479.8	661.6
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	1578.1 ok		948.6 out	949.1 ok	647.5 out	649.3 ok
		残留変位 δR (mm)	1.8		1.0	0.9	19.6	21.0
	δRa (mm)	75.0 ok		125.0 ok	125.0 ok	175.0 ok	175.0 ok	
	タイプ II	応答塑性率 μ_R	0.84		2.15	2.17	3.94	4.13
		許容塑性率 μ_a	5.96		4.66	4.70	4.38	4.54
		基部耐力 $Khe \cdot W$ (tf)	310.1		483.4	478.4	501.6	509.8
		($Khe \cdot W < Pa$) Pa (tf)	1448.3 ok		870.9 ok	871.4 ok	594.8 ok	596.8 ok
		コンクリート直上耐力 Pys (tf)	-		881.5	960.8	479.8	661.6
		($Pys > Pu$) Pu (tf)	1578.1 ok		948.6 out	949.1 ok	647.5 out	649.3 ok
残留変位 δR (mm)		1.0		25.7	25.9	138.0	141.4	
δRa (mm)	75.0 ok		125.0 ok	125.0 ok	175.0 ok	175.0 ok		
備考		震度法レベルと地震時保有水平耐力レベルは同じ断面		地震保有水平耐力照査により充填コンクリート高up		地震保有水平耐力照査により充填コンクリート高up		



I種地盤

II種地盤

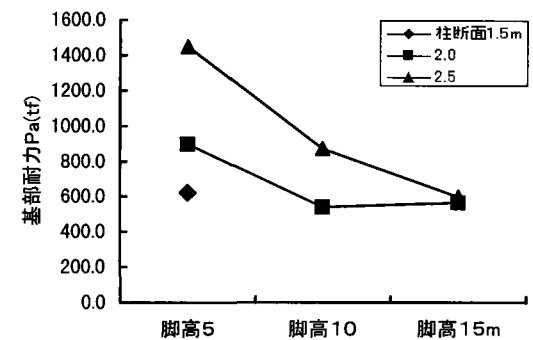
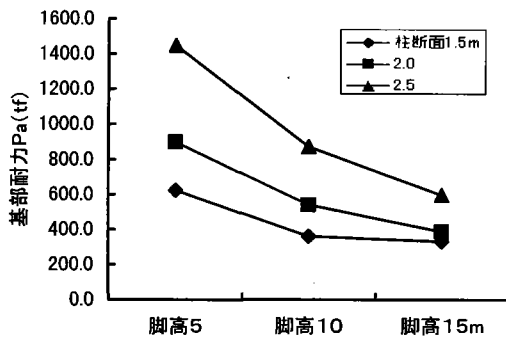
図-3.2.15 コンクリート充填高と橋脚高



I種地盤

II種地盤

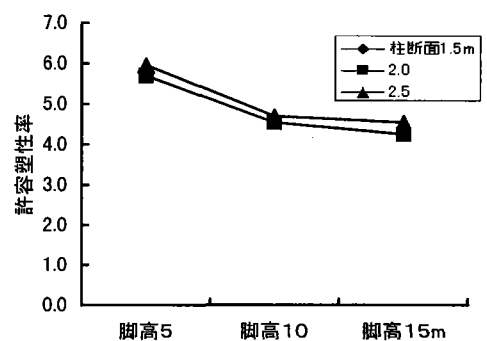
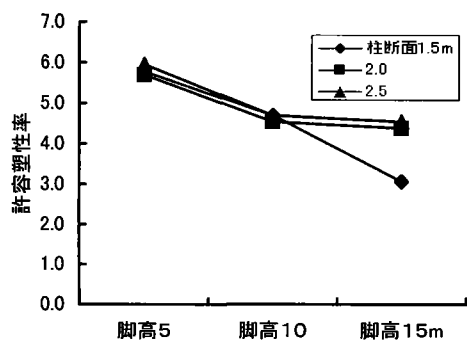
図-3.2.16 鋼断面積と橋脚高



I種地盤

II種地盤

図-3.2.17 基部耐力Paと橋脚高



I種地盤

II種地盤

図-3.2.18 許容塑性率と橋脚高

(4) まとめ及び今後の課題

兵庫県南部地震以後、耐震・免震技術を一層向上させるべきことが明確となり、耐震・免震に関する様々な研究及び開発が盛んに実施された。その結果を踏まえて、平成8年12月の道路橋示方書改訂時には耐震設計法の変更がなされた。また、近年の我が国の社会的、経済的背景より、今後更に公共事業に対する見直しがなされ、橋梁構造物等についても今迄以上に経済性が重視され、より合理的で耐震性にも優れた橋脚の検討が重要になってくるものと予想される。

本WGでは、より合理的な橋脚として合成橋脚（合成構造）に着目して文献を調査し、その結果を文献リストカードとしてまとめた。また、改訂後の道路橋示方書によりコンクリート橋脚及び鋼製橋脚の試設計を実施し、各種橋脚の特徴等を示し、設計時に実務者が参照できる様な資料を得ることを試みた。その結果得られた主な知見を以下に示す。

(a) 合成橋脚文献リストカードの作成

合成橋脚文献リストカードの作成に当たり、調査項目を8項目挙げる事により、検索文献の概要を容易に把握することが可能となった。

(b) コンクリート橋脚の比較試設計

- ① 一般に、必要鉄筋量は最小鉄筋量もしくは保有水平耐力法から得られる鉄筋量から決まる。
- ② 橋脚高が比較的低い場合、必要鉄筋量は外形寸法が小さな時は保有水平耐力法により決定されるが、外形寸法が大きな時は最小鉄筋量で決まってしまう。
- ③ 橋脚高が高い場合は何れの場合も必要鉄筋量は保有水平耐力法で決定される傾向にある。

(c) 鋼製橋脚の比較試設計

- ① 橋脚高が10mより大きくなると地震時保有水平耐力法による影響が大きくなる。
- ② 基部耐力、許容塑性率と橋脚高の関係はある程度比例的な関係がある。
- ③ II種地盤では固有周期が1.0(s)を越えると、外形寸法によっては断面構成不可能となる。

(d) コンクリート橋脚と鋼製橋脚の比較

同一の設計条件の下で、コンクリート橋脚と鋼製橋脚を設計した場合、得られる断面外形寸法に大きな隔たりがある。桁下空間に大きな制約がある大都市内高橋脚の場合、本検討時に用いられた単柱式のコンクリート橋脚では、外形寸法が大きくなる事から、形式採用には制限が生じる。この様な事から、どちらの橋脚形式を採用するかは、対象となる橋脚の架設位置条件や橋脚高さに支配されるものと考えられる。

比較試設計検討については、外形寸法の種類を多くすればより具体的な断面構成可能範囲、地震時保有水平耐力法照査による特性が明確になると考えられる。

以上の様に当WGでは各種橋脚設計時の参考資料を提供する事を主に活動を実施したが、以下の様な点が今後の課題として残った。

- (a) 合成橋脚文献リストカードについて検索システムを構築して、より実務者が利用し易い環境を整える。

- (b) 橋脚試設計時のパラメータ数を増やし、より実設計にフィードバックし易い資料を提示する。
- (c) 橋脚試設計の結果得られた構造系について動的応答解析等を実施し、各橋脚の地震時動特性に対する評価及び比較検討を実施する。