ラーメン高架橋における合成構造地中梁の設計

JR 東日本　東北工事事務所　　正会員　○山崎　裕史
JR 東日本　東北工事事務所　　正会員　　古山　章一

1．はじめに

1柱1杭方式のラーメン構造では耐震設計上の地盤区分で特殊地盤に該当する地盤では、原則として地中梁を省略してはならないとしている[1)]。本稿では、特殊地盤に建設するラーメン高架橋への地中梁の有無が構造特性に及ぼす影響、今回開発した合成構造地中梁[2)]（**図 1**）の設計概要、実施設計における RC 地中梁と合成構造地中梁の所要断面寸法の比較を報告する。

2．地中梁の有無が構造特性に及ぼす影響

本構造を適用し、実施設計した高架橋は単線ラーメン高架橋（**図 2**）である。また、当該箇所は液状化地盤である。設計に先立ち、地中梁の有無が構造特性に及ぼす影響について非線形スペクトル法による検討を行った[3)]。

「鉄道構造物等設計標準　耐震設計（以下、耐震標準と記す）」による検討を行った結果、所要の降伏震度および損傷レベルを得るためには**表 1** に示す部材断面が必要となった。

従って当該箇所の高架橋では、地震時の安全性確保、不同沈下の抑制、柱・杭の鉄筋量削減の観点から、地中梁を設置することとした。

3．合成構造地中梁の設計概要

従来の高架橋地中梁は一般的に RC 構造であるが、RC 地中梁の施工には仮土留めが必要となり、コスト増となる。そこで、仮土留壁を構造部材とする本構造を適用するため、設計法を整理した。

3.1 限界状態設計

各限界状態に関する検討は、「鉄道構造物等設計標準　コンクリート構造物（以下 RC 標準と記す）」に準拠した設計としている。各限界状態における設計概要を以下に示す。

(1)終局限界状態

$$\gamma_i \cdot S_d / R_d \leqq 1.0$$

ここで、S_d：設計断面力

R_d：設計断面耐力　設計曲げ耐力 M_{ud} および設計せん断耐力 V_{yd} は以下のように求める。

M_{ud}：直線鋼矢板を鉄筋に換算した RC 断面の設計曲げ耐力

V_{yd}：$V_{yd}=V_{cd}+V_{pld}$

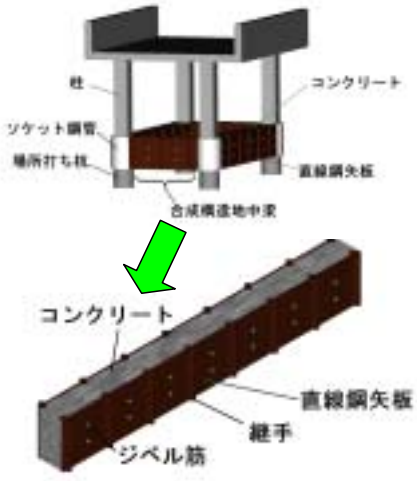

図 1　構造概要図

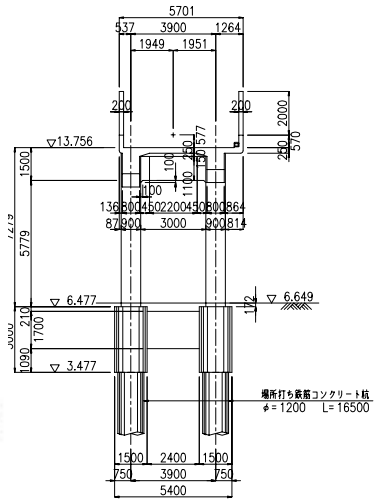

図 2　単線ラーメン高架橋一般図

表 1　検討結果

			Case-1	Case-2
地中梁の有無			あり	なし
構造物全体系	等価固有周期	Teq	1.24 sec	1.64 sec
	降伏震度	K_{hy}	0.377	0.404
	最大応答時震度	K_{hyL2}	0.530	0.572
	応答塑性率	μ	4.0	2.2
	降伏変位	δ_y	144 mm	272 mm
	最大応答変位	δ_{yL2}	576 mm	598 mm
	降伏箇所		柱下端部	柱上端部
部材断面	柱	寸法 mm	900×900	900×900
		圧縮側鉄筋	D29-4本(1段)	D38-15本(2段)
		引張側鉄筋	D29-4本(1段)	D38-15本(2段)
		側方鉄筋	D32-6本	D32-6本
		帯鉄筋	D19-1組 ctc100	D22-2組 ctc100
		損傷ﾚﾍﾞﾙ/制限値	2 / 3	3 / 3
	梁	寸法 mm	B800×H1500	B800×H1500
		上側鉄筋	D32-9本(2段)	D38-9本(2段)
		下側鉄筋	D32-9本(2段)	D38-9本(2段)
		帯鉄筋	D19-2組 ctc125	D19-2組 ctc125
		損傷ﾚﾍﾞﾙ/制限値	1 /2	2 / 2
	杭	径 mm	1200	1200
		主鉄筋	D32-24本	D38-48本(束ね)
		帯鉄筋	D16-1組 ctc150	D16-1組 ctc150
		損傷ﾚﾍﾞﾙ/制限値	2 / 2	2 / 2
	地中梁	寸法 mm	B800×H1700	
		鋼材厚 mm	12.7(錆しろ1.0)	
		損傷ﾚﾍﾞﾙ/制限値	2 / 2	

キーワード　合成構造　直線鋼矢板　ジベル筋
連絡先　　〒980-8580　宮城県仙台市青葉区五橋 1-1-1　JR 東日本　東北工事事務所　工事管理室　TEL022-266-9664

V_{cd}：せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力

V_{pld}：直線鋼矢板で受け持たれる設計せん断耐力

γ_i：構造物係数で、RC 標準による

(2)使用限界状態

RC 標準により検討する

(3)疲労限界状態

本構造を適用する部材が直接列車荷重を受ける部材ではないため、検討は省略する

3.2 耐震設計

耐震性能照査に用いる骨格曲線は、耐震標準の「RC 部材の骨格曲線」を参考に、曲げ試験および交番載荷試験結果に基づき設定した[4]。設計に用いた骨格曲線例を**図 3** に、各剛性変化点の設定概要を以下に示す。

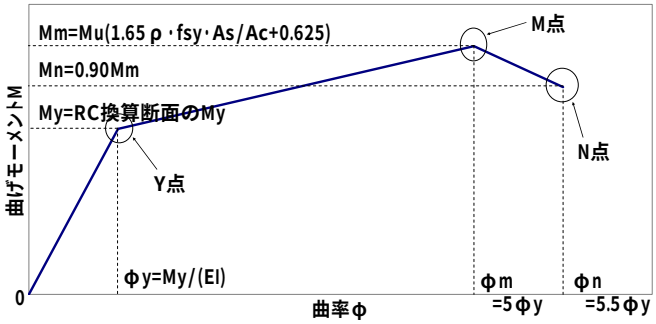

図 3　合成構造地中梁の骨格曲線例

(1)Y 点（鋼材の引張縁応力が降伏点に達する点）

M_y：RC 換算断面における M_y で評価

ϕ_y：$\phi_y=M_y/EI$

ここで、$EI=\alpha\ (E_cI_c+E_sI_s)$

α：合成構造地中梁の割線剛性係数で以下の式により算定する

$\alpha=1.55\rho\cdot f_{sy}\cdot A_s/A_c+0.22$

$\rho\cdot f_{sy}$：ジベル筋補強度

A_s/A_c：軸方向鋼材比

(2)M 点（最大曲げモーメントに達する点）

M_m：$M_m=M_u(1.65\rho\cdot f_{sy}\cdot A_s/A_c+0.625)$

ϕ_m：$\phi_m=5\phi_y$

ここで、M_u：RC 換算断面における曲げ耐力

(3)N 点（M 点の 90%を維持できる点）

M_n：$M_n=0.90M_m$

ϕ_n：$\phi_n=5.5\phi_y$

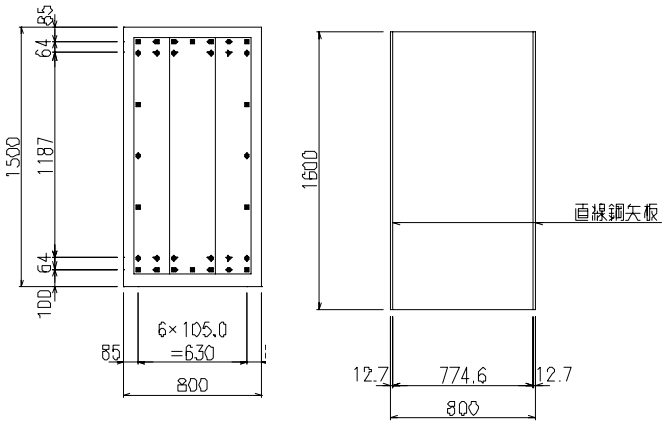

図 4　地中梁の断面形状の比較結果

４．ＲＣ地中梁との比較

液状化地盤における単線ラーメン高架橋について、上記の設計方法を用い、上層梁、柱、杭の断面形状および鉄筋量を同一とし、ＲＣ地中梁と合成構造地中梁との限界状態設計・耐震設計により決定した断面形状を**図 4** に示す。

決定ケースはＲＣ構造および本構造とも液状化後である。断面形状は梁幅が同一（800mm）、梁高はＲＣ地中梁が 1500mm、本構造は 1600mmとなった。

５．まとめ

今回の検討結果から、液状化地盤でのラーメン高架橋の地中梁の有無が構造特性に及ぼす影響を確認できた。また、地中梁に合成構造部材を適用した場合、本高架橋ではＲＣ地中梁に比べ断面が 100mm大きくなる結果となった。ただし、施工方法の簡略化、工期短縮、コストダウン等を総合的に判断すると、本構造適用による効果は大きいと考えられる。

参考文献

1)　鉄道構造物等設計標準・同解説　基礎構造物・抗土圧構造物　2000.6
2)　山崎、古山、竹市：部材側面を 2 面鋼板補強した鋼コンクリート合成部材の破壊性状に関する研究　2001　土木学会全国大会
3)　山崎、大庭：ラーメン高架橋における地中梁の有無が構造特性に及ぼす影響　2003.3　土木学会東北支部
4)　山崎、古山：合成構造地中梁の耐震設計におけるモデル化　2003.3　土木学会東北支部